

Klimarisiko Landwirtschaft

Fachtagung am 16. Februar 2018

Tagungsunterlage



**Masterplan
Klimarisiko**

Im Auftrag des Landes Steiermark

Graz, 16. Februar 2018

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Autorinnen und Autoren

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt

Raumberg-Gumpenstein

Dr. Thomas Guggenberger

JOANNEUM RESEARCH – LIFE

DIⁱⁿ Simone Aberer, BSc

DIⁱⁿ (FH) Sabrina Dreisiebner-Lanz, MSc

Marianne Feichtinger-Hofer, MSc

Mag. Michael Kernitzkyi

Mag. Dr. Franz Prettenthaler, M.Litt

Karl-Franzens-Universität Graz

Prof. Dr. Reinhold Lazar

Südtiroler Beratungsring

Jürgen Christanell

Technische Universität Graz

Ass. Prof. Dr. Johannes Scholz

Versuchsstation Obst- und Weinbau Haidegg

Dr. Thomas Rühmer

Dr. Leonhard Steinbauer

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG

Dr. Alexander Podesser

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

LIFE – Zentrum für Klima, Energie und Gesellschaft

Wagner-Biro-Straße 100

A-8020 Graz, Austria

Tel.: +43-316-876 7600

E-Mail: life@joanneum.at

VORWORT

Sehr geehrte Tagungsteilnehmerinnen und -teilnehmer!

Der globale Klimawandel schreitet unaufhaltsam voran. So sind Naturkatastrophen wie Hochwasser, Hagel, Stürme, Dürre und Spätfrost keine Seltenheit mehr - im Gegenteil, sie treten immer häufiger und mit immer stärker werdender Zerstörungskraft auf.



Portrait: Lebensressort/Oliver Wolf

Vor allem Spätfrost hat die heimischen Wein-, Apfel- und Spezialkulturen in den letzten zwei Jahren schwer getroffen: Die Schäden in den genannten Bereichen belaufen sich auf rund 400 Millionen Euro. Daher bedarf es einer Strategie und darauf aufbauender effektiver Maßnahmen, um die heimische Landwirtschaft vor weiteren zerstörerischen Katastrophen zu schützen.

Gemeinsam mit Landeshauptmann-Stellvertreter Michael Schickhofer haben wir daher die Ausarbeitung des sogenannten „Masterplan Klimarisiko“ in Auftrag gegeben. Unter fachkundiger Leitung der Forschungseinrichtung Joanneum Research sollen die internationalen Eckpfeiler nicht nur näher betrachtet, sondern praxisorientiert weiterentwickelt werden: klimaangepasste Genetik, technische Maßnahmen wie Windmaschinen und Frostberegnungsanlagen, Kommunikations- und Informationsmaßnahmen in Zusammenhang mit Meteorologie und Geodynamik, Wissensbündelung und der Austausch sämtlicher bisher gesammelter Erfahrungen auf europäischer Ebene, insbesondere zwischen Österreich, Bayern und Südtirol. Ein weiterer wichtiger Punkt des Plans ist die Weiterentwicklung von leistbaren Versicherungsangeboten im Risiko- und Einkommensausfallbereich.

Mit der Umsetzung der Strategie beschäftigen sich internationale Expertengruppen. Erste klare und überaus nützliche Ergebnisse in der Entwicklung zukunftssicherer Lösungen liegen bereits vor und werden in der vorliegenden Festschrift näher erläutert.

Den zahlreichen Tagungsteilnehmerinnen und -teilnehmern sowie den beauftragten Expertinnen und Experten wünsche ich in diesem Sinne spannende Vorträge, konstruktive Diskussionen und weiterhin viel Erfolg bei ihrem tatkräftigen Einsatz für mehr Sicherheit in der Landwirtschaft.

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Johann Seiting', with a stylized, flowing script.

Johann Seiting
Agrarlandesrat

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG (FRANZ PRETTENTHALER UND MICHAEL KERNITZKYI)	1
1.1	Übersicht	1
1.2	Masterplan „Klimarisiko Landwirtschaft“	2
1.3	Fokus Obstbau	3
1.4	Fokus Weinbau	4
2	SPÄTFRÖSTE IM ALPENVORLAND: URSACHEN, FROSTARTEN, MESSUNG UND PROGNOSE (ALEXANDER PODESSER)	5
2.1	Der späte Frost.....	5
2.2	Welche Wetterlagen begünstigen Spätfrost?	5
2.3	Messungen im Bestand	7
2.4	Nutzen für die Anwender	9
3	KLIMAWANDEL UND SPÄTFROSTRISIKO – EIN ERSTER RÜCKBLICK (REINHOLD LAZAR UND ALEXANDER PODESSER)	10
4	DIE LEHREN AUS DEN FROSTJAHREN 2016 UND 2017: RASCH UND STRUKTURIERT HANDELN! (LEONHARD STEINBAUER UND THOMAS RÜHMER)	13
4.1	Grundsätzliche Fragen zur Frostbekämpfung.....	14
4.2	Präventivmaßnahmen	14
4.3	„Augustin-Sorten“ – welche Sorten sind in den Frostjahren aufgefallen?	15
5	UMFRAGE ZUM SPÄTFROST 2017 (MICHAEL KERNITZKYI, SIMONE ABERER UND MARIANNE FEICHTINGER-HOFER)	16
5.1	Geografische Verteilung	17
5.2	Temperaturen	17
5.3	Verteilung und Ausmaß der Schäden	19
5.4	Durchführung von Abwehrmaßnahmen.....	21
5.5	Bewertung der Wirksamkeit von Abwehrmaßnahmen	23
5.6	Kosten für die Abwehrmaßnahmen.....	27
5.7	Vergleich mit den Frostereignissen 2016.....	28
5.8	Weitere Anmerkungen	28
6	FROSTABWEHRMAßNAHMEN	29
6.1	Flankierende und vorbeugende Maßnahmen (Sabrina Dreisiebner-Lanz)	32
6.1.1	Standortwahl.....	32
6.1.2	Sortenwahl	34
6.1.3	Kleinklima verbessern.....	35
6.1.4	Bodenbearbeitung und Düngung.....	36
6.1.5	Bodenwärme nutzen	37

6.1.6	Befruchtung verbessern (Leonhard Steinbauer)	38
6.1.7	Rebschnitt	39
6.1.8	Rebschnitt: Frostrute	42
6.1.9	Rebschnitt: double pruning	43
6.1.10	Rebschnitt: Minimalschnitt	44
6.2	Bekämpfungsmaßnahmen (Sabrina Dreisiebner-Lanz und Simone Aberer)	46
6.2.1	Erhöhung des Bodenwassergehaltes	46
6.2.2	Frostberegnung (Leonhard Steinbauer)	47
6.2.3	Bewindung (Leonhard Steinbauer)	50
6.2.4	Helikopter	52
6.2.5	Räuchern	54
6.2.6	Frostkerzen	57
6.2.7	Frostheizung/Frostofen	59
6.2.8	Abdecken	60
6.3	Neue und weitere Methoden (Simone Aberer und Sabrina Dreisiebner-Lanz)	62
6.3.1	Austrieb chemisch verzögern	62
6.3.2	Blüte verzögern	63
6.3.3	Befruchtung chemisch verbessern	64
6.3.4	Heizdraht	65
6.3.5	Frostbuster [®] /FrostGuard [®]	66
6.3.6	Selective inverted sink-Technologie (SIS)	67
6.3.7	Vernebelung	67
6.3.8	Schaumisolierung	67
6.3.9	Eisbildung verhindern	68
7	FROSTSCHUTZTECHNIK IM APFELANBAU (JÜRGEN CHRISTANELL)	69
8	STEIRERTEICH 1.0: INSTRUMENT ZUR PLANUNG VON WASSERSPEICHERN FÜR DIE STEIRISCHE LANDWIRTSCHAFT (THOMAS GUGGENBERGER UND JOHANNES SCHOLZ)	70
9	LITERATUR	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur des Forschungsprojektes „Masterplan Klimarisiko Landwirtschaft“	2
Abbildung 2:	Thermodynamik während einer Frostnacht in einer Obstanlage, nach Köpcke, 2012	6
Abbildung 3:	Mobile Wetterstation der ZAMG am 20.04.2017 in Hangfußlage (Foto: R. Gwaltl)	7
Abbildung 4:	Messfahrt im Bereich der Südsteirischen Weinstraße am 20./21.04.2017 mit einem GPS-Temperaturfühler. Quelle: ZAMG und Google Earth	8
Abbildung 5:	Datum des Austriebs der Reben in Wies und Temperaturwerte der Station Deutschlandsberg	11
Abbildung 6:	Datum der Apfelblüte in Gleisdorf und Temperaturwerte der Station Gleisdorf	11

Abbildung 7:	Vergleich der Stationen Lassnitzhöhe und Gleisdorf	12
Abbildung 8	Gemessene Temperaturen, Obstbau und Weinbau	17
Abbildung 9:	Temperaturen unter 0°C in Abhängigkeit zur Höhenlage mit Trendlinie über allen Punkten (Weinbau).....	18
Abbildung 10:	Temperaturen unter 0°C in Abhängigkeit zur Ausrichtung (Weinbau)	18
Abbildung 11:	Verteilung der Schäden ohne Maßnahmen, Obstbau (Mehrfachnennungen möglich)	19
Abbildung 12	Schäden auf Flächen ohne Maßnahmen, bei Betrieben, die Maßnahmen durchgeführt haben, Weinbau (Mehrfachnennungen möglich)	20
Abbildung 13:	Ausmaß und Art der Schäden ohne Maßnahmen, Obstbau (Mehrfachnennungen möglich)	21
Abbildung 14:	Durchgeführte Maßnahmen, Kernobst (Anzahl Nennungen, Mehrfachnennungen möglich)	22
Abbildung 15:	Durchgeführte Maßnahmen, Steinobst (Anzahl Nennungen, Mehrfachnennungen möglich)	22
Abbildung 16:	Durchgeführte Maßnahmen, Weinbau (Anzahl Nennungen, Mehrfachnennungen möglich)	23
Abbildung 17:	Bewertung der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen im Obstbau, 1 (mehr Schäden) bis 5 (deutlich positiver Effekt), Mittelwerte und Standardabweichung.....	24
Abbildung 18:	Geschätzte Ertragsverluste bei Kernobstanlagen mit und ohne Frostschutzmaßnahmen (n=Gesamtanzahl Daten, *nur Mulchen, Hagelnetz schließen, Bewässern vor dem Frost), verändert nach Karlinger	25
Abbildung 19:	Geschätzte Ertragsverluste bei Steinobstanlagen mit und ohne Frostschutzmaßnahmen (n=Gesamtanzahl Daten, *nur Mulchen, Hagelnetz schließen, Bewässern vor dem Frost), verändert nach Karlinger	25
Abbildung 20:	Bewertung der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen im Weinbau, 1 (mehr Schäden) bis 5 (deutlich positiver Effekt), Mittelwerte und Standardabweichung.....	26
Abbildung 21:	Rebholz – von erfroren über zu hohem Markanteil bis zu ideal.....	40
Abbildung 22:	Windmaschine mit Zusatzheizung	51
Abbildung 23:	Helikoptereinsatz zur Frostbekämpfung, 21. April 2017	53
Abbildung 24:	Räuchern als Frostschutzmaßnahme, 21. April 2017	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Arbeitsaufwand/Materialkosten pro Hektar nach Abwehrmaßnahmen im Obstbau.....	27
Tabelle 2	Arbeitsaufwand/Materialkosten pro Hektar nach Abwehrmaßnahmen	28
Tabelle 3	Anzahl der erforderlichen Kerzen in Abhängigkeit von der Temperatur	57

1 EINLEITUNG (FRANZ PRETTENTHALER UND MICHAEL KERNITZKYI)

1.1 ÜBERSICHT

Die Spätfröste der Jahre 2016 und 2017, aber auch die sich häufenden Dürre- und Extremwetterereignisse haben gezeigt, dass die steirische Landwirtschaft mit zunehmenden Klimarisiken konfrontiert ist. Um auf die sich verändernden Rahmenbedingungen zu reagieren, haben Landesrat Ök.-Rat Johann Seitingner und LH-Stv. Mag. Michael Schickhofer die Erstellung des „Masterplan Klimarisikomanagement Landwirtschaft Steiermark“ als mehrjähriges Forschungsprojekt in Auftrag gegeben und JOANNEUM RESEARCH mit der Umsetzung betraut. Das Projekt ist auf drei Jahre ausgelegt und wurde mit Juli 2017 gestartet. Das übergeordnete Ziel ist es, durch eine abgestimmte praxisorientierte Forschungstätigkeit wetterbedingte Schäden in der Landwirtschaft zu verringern und eine bessere Absicherung der Landwirtschaft gegenüber klimawandelbedingten Extremereignissen zu erreichen.

Im ersten Jahr der Erstellung des Masterplanes Klimarisikomanagement Steiermark steht aufgrund der aktuellen Ereignisse klar der Spätfrost und aufgrund des engen Zusammenhangs durch Maßnahmen der Frostberegnung die ausreichende Wasserversorgung der landwirtschaftlichen Kulturen im Vordergrund.

Die Erstellung des Masterplans umfasst insbesondere:

- Die Beschleunigung des risikobezogenen Wissenstransfers von der Theorie in die Praxis
- Die Entwicklung einer Basis für besseres und kosteneffizientes Risikomanagement; dies dient auch der Absicherung der Lebensmittelproduktion in der Steiermark sowie deren nachhaltiger Positionierung auf den internationalen Märkten
- Die Stimulation der technologischen Entwicklung von Lösungsansätzen heimischer Anbieter, um durch Wissensvorsprung deren internationale Wettbewerbsfähigkeit zu stärken

Durch eine enge Abstimmung unter den involvierten Forschungseinrichtungen, öffentlichen Einrichtungen, Unternehmen und sonstigen Stakeholdern des Projektes wird die Praxisnähe und Umsetzbarkeit des Forschungsprojektes gesichert. Eine wesentliche Aufgabe von JOANNEUM RESEARCH ist daher die Koordination der zahlreichen Forschungs- und Versuchstätigkeiten, die sowohl auf der Ebene von Institutionen und Firmen als auch von Privatpersonen initiiert werden und wurden. Dadurch sollen Synergieeffekte gehoben und noch fehlende Inhalte identifiziert und forciert werden. Auch die Zusammenführung und Auswertung von nationalen und steirischen Ergebnissen ist ein zentrales Anliegen.

Letztendlich soll den Entscheidungsträgern nach diesen drei Jahren einerseits eine fundierte wissenschaftliche Grundlage zur Minderung von Klimarisiken in der steirischen Landwirtschaft zu Verfügung stehen, andererseits sollen aber auch merkbare Erfolge zur Weiterentwicklung von geeigneten Abwehrmaßnahmen erzielt worden sein.

1.2 MASTERPLAN „KLIMARISIKO LANDWIRTSCHAFT“

Die Priorität liegt im ersten Jahr auf dem Thema „Spätfrost“, in den folgenden Projektjahren wird verstärkt auf die Themen „Dürre“ und „Extremereignisse“ eingegangen. Für den Bereich „Spätfrost“ wurden zunächst die bisher bekannten Maßnahmen zusammengefasst, analysiert und evaluiert, um daraus nicht nur Erkenntnisse zur Sinnhaftigkeit einzelner Maßnahmen, sondern auch Fragestellungen für zukünftige Weiterentwicklungen zu generieren, die in weiterer Folge auch umgesetzt werden sollen. Im Bereich „Landwirtschaft und Wasser“ geht es vordringlich auch darum, die wirtschaftliche Bedeutung jener Spezialkulturen auf regionaler Ebene zu erheben, die größere Investitionen in Bewässerungslösungen rechtfertigen.

Es wird sowohl die Problemanalyse und die konkrete Bewertung von Handlungsalternativen als auch die Umsetzung von Maßnahmen vorangetrieben.

Die einzelnen Ebenen des Forschungsprojekts sind in folgende Bereiche gegliedert (Abbildung 1):

- Pflanzenbauliche Maßnahmen/Interventionen (z.B. austriebsverzögernde Maßnahmen zur Bekämpfung der Spätfrostgefahr oder trockenheitsresistentere Züchtungen)
- Technische Maßnahmen/Interventionen (z.B. Bewindung, Beregnung, Feststellung von Effektivität und Effizienz, regionale Sicherung von Wasserressourcen)
- Finanzielle Maßnahmen/Interventionen (z.B. konkrete Schadenserhebungen, Risikotransfermechanismen, versicherungsmathematische Berechnungen)
- Governance/politische Maßnahmen (z.B. Stärkung abgestimmter gemeinschaftlicher Vorgangsweise bei wasserrechtlichen Bewilligungen, Gründung von Genossenschaften)

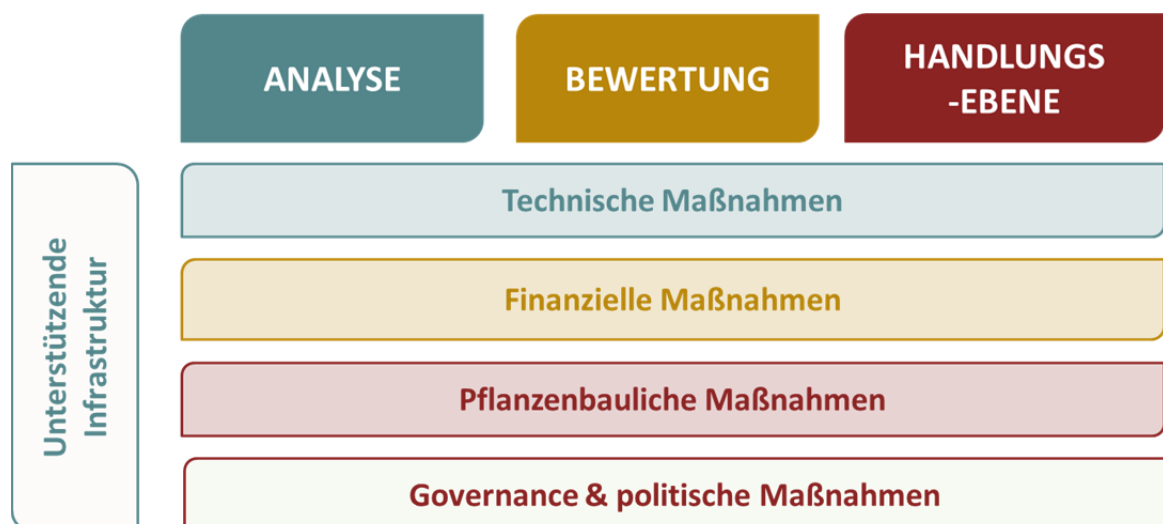


Abbildung 1: Struktur des Forschungsprojektes „Masterplan Klimarisiko Landwirtschaft“

Als zusätzliche Säule ist die Errichtung einer unterstützenden Infrastruktur geplant, um bestehende Ressourcen optimal zu bündeln und zu nutzen, aber auch weiterentwickeln zu können. Diesbezüglich geht es z.B. um die Einrichtung verbesserter meteorologischer Frühwarnsysteme unter Einbindung privater Messstationen, es zählen aber auch die Erstellung konkreter längerfristiger Forschungsvorhaben, die Einrichtung einer Webseite und die laufende Zurverfügungstellung aktueller Informationen auf www.klimarisiko.at dazu.

Die vorliegende Tagungsunterlage soll den derzeitigen Wissensstand aufzeigen und den bisherigen Projektverlauf dokumentieren. Aufgrund der hohen Spätfrostgefährdung und dem klaren Weiterentwicklungsbedarf im Bereich der Abwehrmaßnahmen liegt der Fokus im ersten Jahr auf den Sparten Obst- und Weinbau. Die Tagungsunterlage stellt hierbei einen Zwischenschritt dar. Auf dieser aufbauend soll in weiterer Folge ein umfassendes Spätfrosthandbuch erstellt werden, das in Weiterentwicklung der derzeit in Durchführung befindlichen Versuche zu Abwehrmaßnahmen detailliert die aktuellen Möglichkeiten aufzeigt sowie auf offene Forschungsfragen eingeht. Damit soll neben den Landwirtinnen und Landwirten auch der Politik eine bestmögliche Entscheidungsgrundlage zu Verfügung gestellt werden.

1.3 FOKUS OBSTBAU

Mittels der bisherigen Analyse des Wissensstandes und auf der Grundlage der Rückmeldungen der Stakeholder und der Praxis wurden für den Obstbau folgende Themen als vordringlich identifiziert:

■ Vorbeugende Maßnahmen

Für den Obstbau stehen im Bereich der vorbeugenden Maßnahmen die Fragen nach Standorteignung und Gefährdungslagen sowie die Abstimmung von Obstart, Sorte und Lage im Vordergrund.

■ Frostberechnung

Die Frostberechnung als wichtigste und wirksame Frostabwehrmaßnahme in diesem Bereich bringt die Problematik der Wasserbereitstellung und Wasserverfügbarkeit mit sich. Neben Fragen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen und zur Optimierung des Einsatzes (Steuerung, Einschaltzeitpunkt) stellen sich daher auch Fragen nach dem Potenzial von Wassereinsparung. Konkret geht es um die Verbesserung und (Weiter-)Entwicklung wassersparender Methoden.

■ Bewindung

Sowohl fehlende Wasserverfügbarkeit als auch Folgeprobleme der Frostberechnung erfordern alternative Abwehrmaßnahmen für einige Kulturen oder Standorte. Eine Möglichkeit ist die Bewindung, die allerdings im Kontext der steirischen Bedingungen auf Wirksamkeit und Umsetzungspotenzial zu prüfen ist.

■ Paraffinkerzen/Beheizung

Eine weitere Alternative zur Frostberechnung im Obstbau stellt das Beheizen mit Paraffinkerzen oder anderen Wärmequellen dar. Besonders für den Obstbau problematisch sind die hohen Kosten, die beim Einsatz von Paraffinkerzen anfallen. Folglich sind kostengünstige, umweltverträgliche und leicht verfügbare Brennmaterialien und Informationen zu deren optimalen Einsatz gewünscht.

1.4 FOKUS WEINBAU

Für den Weinbau haben die bisherige Analyse des Wissensstandes und die Rückmeldungen von Stakeholdern und aus der Praxis ergeben, dass neben den Abwehrmaßnahmen insbesondere vorbeugende Maßnahmen eine wichtige Rolle einnehmen.

■ Vorbeugende Methoden

Neben den Fragestellungen zu Standorteigenschaften und Frostgefährdung kommt der besseren Abstimmung von Sorte und Lage – auch angesichts der zukünftigen klimatischen Bedingungen – Bedeutung zu. Die Verzögerung des Austriebs ist im Weinbau mit mehreren traditionellen (Schnitt, Erziehungssystem), aber auch neuen Methoden (z.B. Ölbehandlungen) möglich. Um eine praxistaugliche Anwendung bei steirischen Sorten und unter steirischen Klimabedingungen zu ermöglichen, werden Versuche zur Wirksamkeit und zu den Auswirkungen auf die Rebentwicklung und Traubenqualität benötigt.

■ Bewindung

Hinsichtlich der Bewindung stellen sich im Weinbau ähnliche Fragen wie im Obstbau. Es gilt, die Wirksamkeit verschiedener Fabrikate in Hang- und Steillagen zu überprüfen und daraus Empfehlungen an die Praxis abzuleiten. Mögliche Kombinationen mit einer Beheizung könnten für Obst- und Weinbau interessant sein.

■ Paraffinkerzen / Beheizung

Auch wenn für gewisse Produktionsziele (z.B. Lagenweine) die Kosten für Paraffinkerzen eher tragbar sind, wären alternative Methoden zur Beheizung wünschenswert. Zudem gilt es, die Aufstellung am Hang zu optimieren.

■ Neue Methoden

Die Abwehr von Strömungsfrösten ist eine besonders große Herausforderung. Neue Methoden, die sich im Versuchsstadium befinden, könnten hier eine wertvolle Ergänzung darstellen. Allerdings sind bezüglich dieser technischen Lösungen noch zahlreiche offene Fragen zu klären, und es ist noch Entwicklungsarbeit zu leisten.

2 SPÄTFRÖSTE IM ALPENVORLAND: URSACHEN, FROSTARTEN, MESSUNG UND PROGNOSE (ALEXANDER PODESSER)

2.1 DER SPÄTE FROST

Die vergangenen beiden Spätfrost-Ereignisse führten in den steirischen Wein- und Obstbaugebieten zu teils massiven Schäden an den Kulturen und in weiterer Folge zu massiven Ernteaussfällen. Ende April 2016 sorgte ein Wintereinbruch nicht nur für Neuschnee im gesamten Alpenvorland, sondern an 4 Nächten auch für Frost, wobei die Minima der 2 Meter-Lufttemperatur auf bis zu -6°C , die 5 cm-Bodentemperaturen sogar auf -9°C sanken (Pehsl 2016). Ein Jahr später folgten dem wärmsten März seit Aufzeichnungsbeginn und den zwei ersten, ebenfalls überdurchschnittlich warmen Aprildekaden wiederum zwei Spätfrosttage mit Minima der 2 Meter-Lufttemperaturen bis -5°C (Podesser 2017). Bei beiden Frostereignissen wurden große standortspezifische Temperaturunterschiede festgestellt, zwei von der ZAMG kurzfristig errichtete Stationsprofile in Weingärten sowie Messfahrten belegten dies eindrucksvoll.

2.2 WELCHE WETTERLAGEN BEGÜNSTIGEN SPÄTFROST?

Mit der Zufuhr von polaren oder arktischen Luftmassen steigt bis ins Spätfrühjahr die Gefahr von Spätfrost. Derartige Kälterückfälle sind bei uns nicht ungewöhnlich und treten in unregelmäßigen Abständen immer wieder auf. Allerdings ist mit dem nachweislich früheren Vegetationsbeginn das Risiko für Spätfrost eher gewachsen. Von den frostrelevanten Wetterlagen sind es einerseits die antizyklonalen Nordwestlagen, die sich an der Rückseite abziehender Fronten einstellen; eine Schneedecke aus vorangegangenen Schneefall verschärft dabei die Situation zusätzlich, weil sie die Persistenz der Strahlungswetterlage fördert. Andererseits begünstigen kontinentale Hochdrucklagen bzw. Hochdruckrandlagen die Ausbildung von nächtlichen Temperaturinversionen.

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Spätfrosten:

Advektionsfrost oder Windfrost entsteht durch die Zufuhr von sehr kalter und trockener Luft. Der geringe Feuchtegehalt des Luftpörpers verstärkt dabei die nächtliche Ausstrahlung. Im Unterschied zu Strahlungsfrösten bilden sich mit dem allochthonen Kaltlufteintrag keine Temperaturinversionen aus, sodass die Kaltluft in allen Höhenlagen wirksam ist. Auch treten höhere Windgeschwindigkeiten auf, als dies bei den turbulenten Strömungen der Strahlungsfröste der Fall ist, sodass besonders windexponierte Lagen wie Riedelrücken usw. windfrostgefährdet sind. In den steirischen Wein- und Obstbaugebieten kommen Advektionsfröste sehr selten vor, da durch die abgeschirmte Lage südlich des Alpenhauptkammes derartige Luftmassen nur mehr abgeschwächt wirksam sind.

Beim **Strahlungsfrost** wird die Kaltluft autochthon, also vor Ort gebildet. Voraussetzung dafür sind allerdings bestimmte Wetterlagen mit niedrigen Ausgangstemperaturen, eher geringem Feuchtegehalt der Luft sowie fehlender nächtlicher Bewölkung und windschwachen Verhältnissen. Die Kaltluft entsteht durch nächtliche Abstrahlung der tagsüber am Boden und der Pflanzenoberfläche gespeicherten langwelligen Strahlung, wobei die negative Strahlungsbilanz bereits kurz nach Sonnenuntergang erreicht wird. Erfolgt kein Wärmenachschub durch den Konvektionsimpuls, kühlt die Luft rasch weiter ab (siehe Abbildung 2). Für praktische Zwecke wird die Stärke der Kaltluftproduktion unterschiedlicher Flächen durch empirische Kaltluftproduktionsraten charakterisiert. So haben Freiflächen (Wiese, Acker) eine mittlere Kaltluftproduktionsrate von ca. 12 m^3 pro m^2 und Stunde. Im geneigten Gelände fließt die so produzierte Kaltluft ab. Die Fließgeschwindigkeit erreicht in Gegenden mit mäßiger Reliefenergie (also bspw. entlang von Weinrieden) meist Werte von 0,5 bis 1 m/s. Der Kaltluftabfluss wird von oben durch relativ wärmere Luft kompensiert, allerdings nur solange der Kaltluftsee am Hangfuß nicht wesentlich ansteigt. Dementsprechend sind die Tallagen und Hangfußlagen inversionsbedingt deutlich kälter als die höhergelegenen Hangzonen und Riedelrücken.

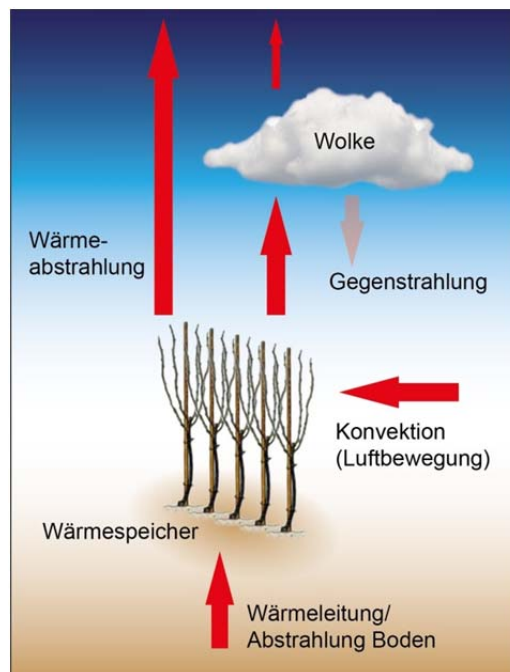


Abbildung 2: Thermodynamik während einer Frostnacht in einer Obstanlage, nach Köpcke, 2012

Zusammenfassend fördern bzw. verstärken folgende Bedingungen den Schadfrost:

- Ein klarer nächtlicher Himmel, der die Ausstrahlung begünstigt
- Trockene Luft, da der Wasserdampf die nächtliche Gegenstrahlung erhöht
- Windstille, da eine Durchmischung mit wärmerer Luft unterbunden wird
- Geländeteile, wo die Kaltluft nicht abfließen kann (Tallagen, Mulden, künstliche Barrieren usw.)
- Hohes Gras und Mulchschichten, an denen die Ausstrahlung effektiver erfolgt als am kahlen Boden

2.3 MESSUNGEN IM BESTAND

Neben der Lufttemperatur ist vor allem die Taupunkttemperatur ein wichtiger Indikator für die Stärke des zu erwartenden Frostereignisses. In der Meteorologie wird der Taupunkt als Maß für die Luftfeuchtigkeit herangezogen. Wenn die jeweilige Lufttemperatur mit dem Taupunkt übereinstimmt, spricht man von gesättigter Luft, die relative Luftfeuchtigkeit beträgt dann 100 %. Sinkt die Temperatur der Luft unter ihren Taupunkt, was bei bodennaher Luft häufig am Morgen der Fall ist, so kondensiert ein Teil des Wasserdampfs, es entsteht Tau oder Nebel, bei tieferen Temperaturen auch Reif.

In Frostnächten gilt daher die Taupunkttemperatur als die tiefste theoretisch erreichbare Lufttemperatur bis zum Einsetzen von Wärmefreisetzung aufgrund der Wasserdampfkondensation. So können bei sehr trockenen Luftmassen mit beginnender negativer Strahlungsbilanz noch deutlich positive Lufttemperaturen gemessen werden, während die Taupunkttemperatur schon nahe am Gefrierpunkt und der kritischen Pflanzentemperatur liegt. Der Taupunkt liegt dann noch deutlich tiefer, und der Temperaturabfall erfolgt wegen der fehlenden Kondensationswärme sehr rasch. In der englischsprachigen Literatur wird dieses Phänomen als „black frost“, also als „schwarzer Frost“ bezeichnet, weil trotz der niedrigen Lufttemperaturen keine Reifbildung einsetzt.

Zur Bekämpfung von Spätfrösten gibt es unterschiedliche Methoden wie Beheizen, Bewinden, Bewässern, Abdecken usw., für die im Anlassfall entsprechende Vorlaufzeiten einzuplanen sind. Meteorologische Stationen in den Kulturbeständen können zwar bei Erreichen bestimmter kritischer Werte automatisch Alarmer triggern, doch sind die Zeitspannen bis zum beginnenden Frostereignis zu kurz. Sinn machen derartige Stationen trotzdem, weil bei längerer instrumenteller Beobachtung Regeln über die Gunst und Ungunst der Mikroklimalage abgeleitet werden können. Am effektivsten sind aber wohl verlässliche Frostprognosen, durch die man sich bereits einige Tage vorher auf den Schadfrost entsprechend einstellen kann.

In den steirischen Wein- und Obstbaugebieten ist das amtliche Stationsnetz recht dünn, im direkten Bestand fehlen Stationen überhaupt gänzlich. Zwar betreiben einige Landwirte private Wetterstationen, allerdings mit unterschiedlichen Standards (technische Ausstattung, Formate, fehlende Übertragung, unterschiedliche Aufstellungskriterien...). Die Daten dieser Stationen sind für Wetterprognosen nur eingeschränkt nutzbar, weil sie nicht zentral auf einem Server zusammenlaufen.



Abbildung 3: Mobile Wetterstation der ZAMG am 20.04.2017 in Hangfußlage (Foto: R. Gwaltl)

Die letzten beiden Spätfrostereignisse haben gezeigt, dass fast alle automatischen Wetterprodukte mit den Temperaturprognosen „daneben“lagen. Das ist auch nicht weiter verwunderlich, da die Vorhersage von kleinräumig sehr unterschiedlich wirksamen Wetterphänomenen derzeit nicht möglich ist. So weisen gerade die Riedel in den Weinbaugebieten große geländeklimatische Differenzen insbesondere in der vertikalen- und expositionsbedingten Verteilung auf. Bei der Lufttemperatur können daher auch während der Vegetationsperiode deutliche Unterschiede von bis zu 10 K auftreten, aber ebenso bei anderen Parametern, insbesondere bei der Relativen Feuchte bzw. Taupunkttemperatur, gibt es entsprechende Abweichungen (vgl. Schnelle, 1963, Geiger, 1995). Ein von der ZAMG während des Frostereignisses im April 2017 errichtetes Sonderstationsnetz sowie durchgeführte Messfahrten bestätigten eindrucksvoll die geländebedingten thermischen Unterschiede (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).

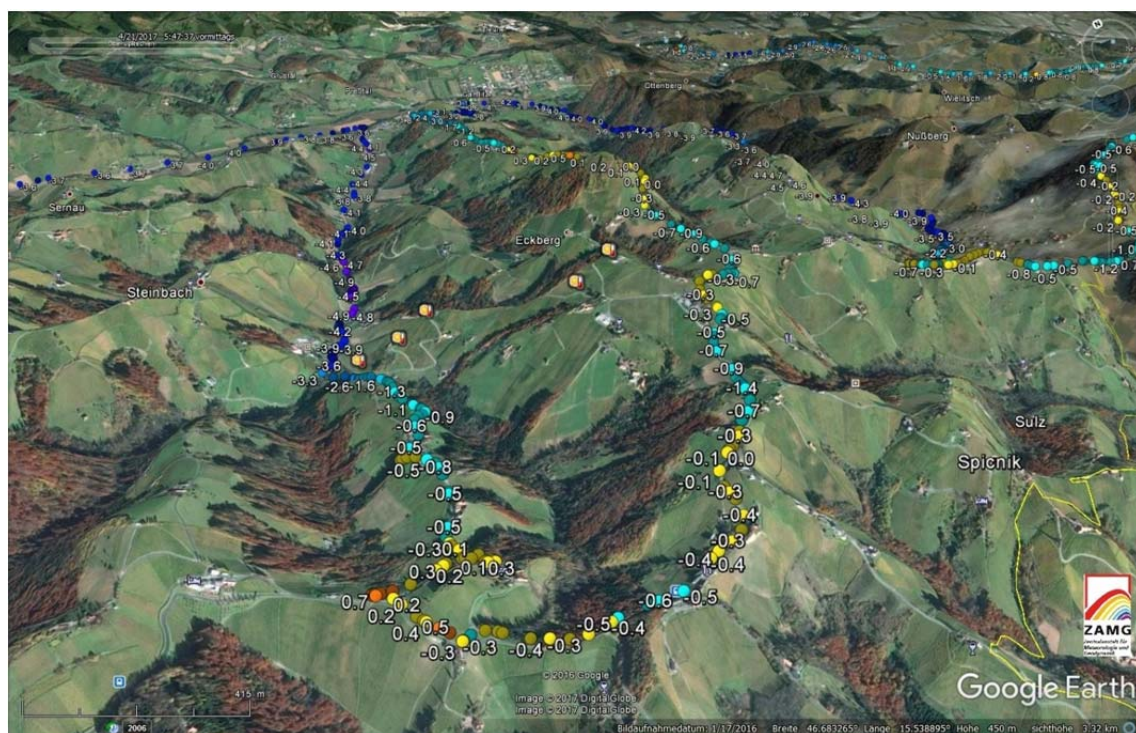


Abbildung 4: Messfahrt im Bereich der Südsteirischen Weinstraße am 20./21.04.2017 mit einem GPS-Temperaturfühler. Quelle: ZAMG und Google Earth

2.4 NUTZEN FÜR DIE ANWENDER

Die räumliche Auflösung der eingesetzten Wettermodelle reicht also derzeit noch nicht aus, um die genannten lokalklimatischen Unterschiede befriedigend darzustellen. Verbesserungen der Wetterprognosen in den Wein- und Obstbaugebieten könnten aber durch eine Verdichtung des Stationsnetzes erzielt werden: Einerseits würde damit die Prognosegüte über die dadurch viel genauere INCA-Analyse* als Input steigen, andererseits könnten mit einem MOS*-Ansatz über ein statistisches Verfahren die Vorhersageergebnisse numerischer Wettermodelle anhand von Stationsmesswerten, die für den Ort vorhanden sein müssen, optimiert werden. So würden die Vorteile eines numerischen Modells mit den Messwerten vor Ort kombiniert, um eine möglichst genaue und zeitgerechte Prognose für den jeweiligen Standort zu erhalten. Neben einer exakten Frostprognose könnten aber auch andere, kombinierte Werte laufend abgeleitet werden, etwa Prognosen für unterschiedliche Infektionsrisiken, optimale Spritz-Zeitpunkte usw.

Ein weiterer Vorteil einer Stationsverdichtung wäre ein Monitoring der Klimaverhältnisse in den unterschiedlichen Lagen und - daraus abgeleitet - die durch den Klimawandel sinnvolle Eignungsänderung bestimmter Sorten.

* INCA „Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis“ ist ein an der ZAMG entwickeltes Nowcasting-Vorhersagemodell, das alle meteorologischen Daten nutzt und verknüpft: Beobachtungsdaten (ca. 300 Stationen in Österreich), Radardaten, Satellitendaten sowie Daten der zur Zeit besten Vorhersagemodelle

* MOS „Model Output Statistics“ ist ein statistisches Verfahren aus der Kombination von Wettermodell- und Stationsmessdaten, bei dem jeder Wetterstation eine dem Standort und den historischen Messdaten angepasste Wettercharakteristik zugewiesen wird.

Literatur

Geiger, R. 1995: The Climate Near the Ground. 528 S.

Köpcke, D. 2012: Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in der Obstanlage, OVR – Mitteilungen 67, S. 139-146.

Pehsl, C., Podesser, A. 2016: Wintereinbruch Ende April 2016: In: ZAMG Newsletter Herbst/Winter 2016, S.1.

Podesser, A. et al. 2017: April 2017: Der späte Frost. In: ZAMG Newsletter Frühling/Sommer 2017, S.9.

Schnelle, F. (Hrsg.) 1963: Frostschutz im Pflanzenbau, Bd.: Die meteorologischen Grundlagen der Frostschadensverhütung. 488 S.

Schnelle, F. (Hrsg.) 1965: Frostschutz im Pflanzenbau, Bd.2: Die Praxis der Frostschadensverhütung. 604 S.

3 KLIMAWANDEL UND SPÄTFROSTRISIKO – EIN ERSTER RÜCKBLICK (REINHOLD LAZAR UND ALEXANDER PODESSER)

Allgemein ist zunächst anzumerken, dass vor allem ab 1982 eine Erwärmung eingesetzt hat, die alle Jahreszeiten betrifft. Dies hat zur Folge, dass die Blühtermine beim Obst und der Austrieb bei Wein immer früher eintreten, was inzwischen etwa zwei Wochen im Vergleich mit den Dezennien 1951 bis 1980 ausmacht. Der letzte Frost unter -1° tritt zwar auch immer früher ein, jedoch fallen die Unregelmäßigkeiten bzw. die extreme Streuung stärker ins Gewicht. Dazu kommt bei einem Rückblick in die 50-er Jahre ein Phänomen dazu, das offensichtlich mit bestimmten Zirkulationsmustern zusammenhängt, die die Westwinddrift blockieren und damit Polar- und Arktikluftausbrüche aus nördlicher Richtung begünstigen. In den 50-er Jahren waren jeweils die ungeraden Jahre stark betroffen (vor allem 1953 und 1957, und dabei jeweils im Mai). Die 60-er Jahre verliefen wiederum eher unauffällig, während dann in den 70-er Jahren vor allem die Jahre 1979 und 1978 bzw. 1977 aber auch 1976 hervorstechen. Auch hier waren wieder extreme Kaltluftausbrüche in Verbindung mit einem Adriatief mit Schneefällen die Ursache. Die Verhältnisse am 4. Mai 1979 waren sehr ähnlich den Bedingungen vom 21.4.2016, auch hier fielen ca. 10 cm nasser Schnee, der zu Schäden in den Kulturen führte – unabhängig vom darauffolgenden Frost und den Schäden an der Obstblüte. Die 80-er Jahre verliefen – sieht man von lokalen Aspekten in talnahen Anlagen ab – eher unauffällig, wobei zwei Schneefallergebnisse im Mai 1985 und April 1987 erwähnenswert sind, wo aber die Bewölkung in der darauffolgenden Nacht recht stark war. Die beiden nächsten Dezennien waren unauffällig, was aber im Übrigen dazu führte, dass einige Betriebe in talnahen Lagen Kulturen (bzw. direkt im Raabtal) anlegten, was sich dann als sehr verhängnisvoll 2016 und 2017 auswirken sollte. In den Klimateignungskarten sind aber alle diese kritischen Bereiche eigens ausgewiesen, in denen vor zu hohem Frostrisiko gewarnt wird.

Zusammenfassend können wir damit sagen, dass einerseits mit dem Klimawandel die phänologischen Stadien immer früher einsetzen und andererseits das Spätfrostrisiko damit insgesamt steigt, weil Polarluftausbrüche mit Schadfrösten etwa im April durchaus keine Seltenheit sind und selbst im Mai durchaus denkbar sind. Hinzu kommt nach den Beobachtungen der Versuchsstation Haidegg, dass die Fröste eher die Pflanzen in einem sehr sensiblen – weil schon stark vorangeschrittenen – Entwicklungsstadium (oft schon kleine Früchte!) treffen. Weiters sei darauf hingewiesen, dass wir es in der Steiermark nahezu ausschließlich mit Strahlungsfrost zu tun haben. In den letzten 70 Jahren waren Advektivfröste nur Ende März 1977 (allerdings waren da die Schäden gering und der Weinaustrieb war noch nicht so weit) und Mitte April 1981 betraf es nur den Nordosten (Raum Weiz, und da nur die höchsten Lagen ab ca. 500m Seehöhe). Dies ist dadurch bedingt, dass die steirischen Anbauggebiete im Lee der Alpen liegen und daher einer sehr starken Abschirmung unterliegen, was klarerweise zu einem „Einschlafen“ des Windes und nächtlichen Aufklaren führt. Damit sind aber auch Abwehrmaßnahmen gegen die Strahlungsfroste sinnvoll.

In den beigegeführten Diagrammen erkennen wir die Auswirkung des Klimawandels mit dem verfrühten Austrieb beim Wein und dem zwar auch früheren Ende des letzten Frostes unter -1° (Abbildung 5) – allerdings mit dem ungünstigen Begleitumstand einer Abhängigkeit von ungünstigen Zirkulationsmustern, die auch einige Jahre hintereinander durchaus polare Kaltlufteinbrüche erwarten lassen, was bei der in Regel nun verfrühten phänologischen Entwicklung zu Schäden im Obst- und Weinbau führen

kann. Die jeweils kritischen Jahre mit Überschneidung Spätfrost und Blühtermin sind mit einer eigenen Punktsignatur gekennzeichnet. In Abbildung 6 sind der Blühtermin der Äpfel und die Temperaturwerten im Raum Gleisdorf angeführt, wobei auch hier zu berücksichtigen ist, dass die Temperaturwerte von Talstationen stammen, die generell gegenüber den Riedellagen (von der die phänologischen Daten herrühren) etwas benachteiligt sind, wobei ungefähr 10 bis 14 Tage einzukalkulieren sind. Dies kommt im Vergleich mit den Riedelstationen Lassnitzhöhe und Gleisdorf gut zur Geltung (Abbildung 7); nichtsdestotrotz stechen gerade die beiden letzten Schadereignisse besonders hervor.

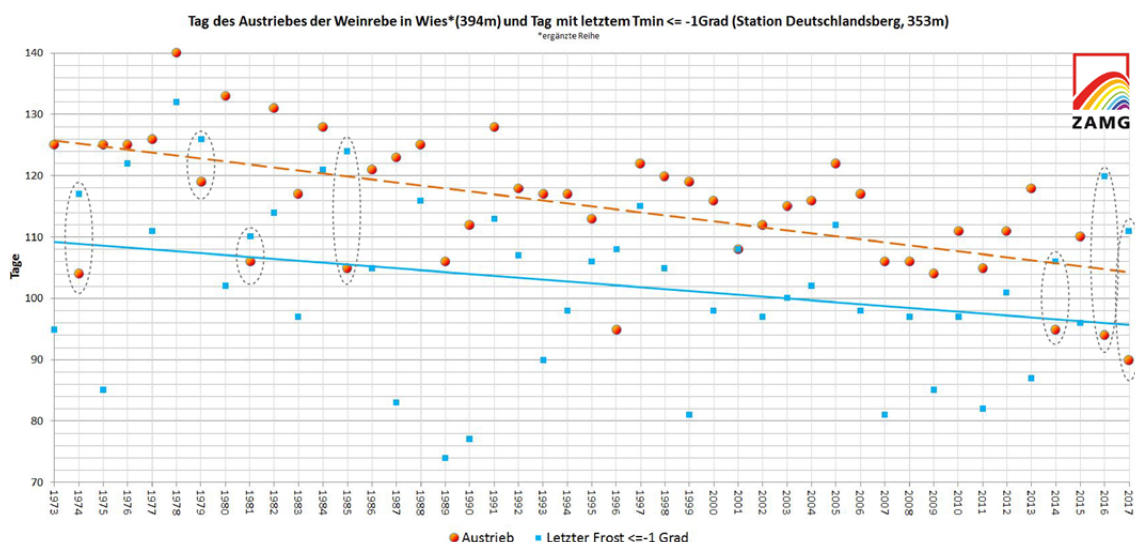


Abbildung 5: Datum des Austriebs der Reben in Wies und Temperaturwerte der Station Deutschlandsberg

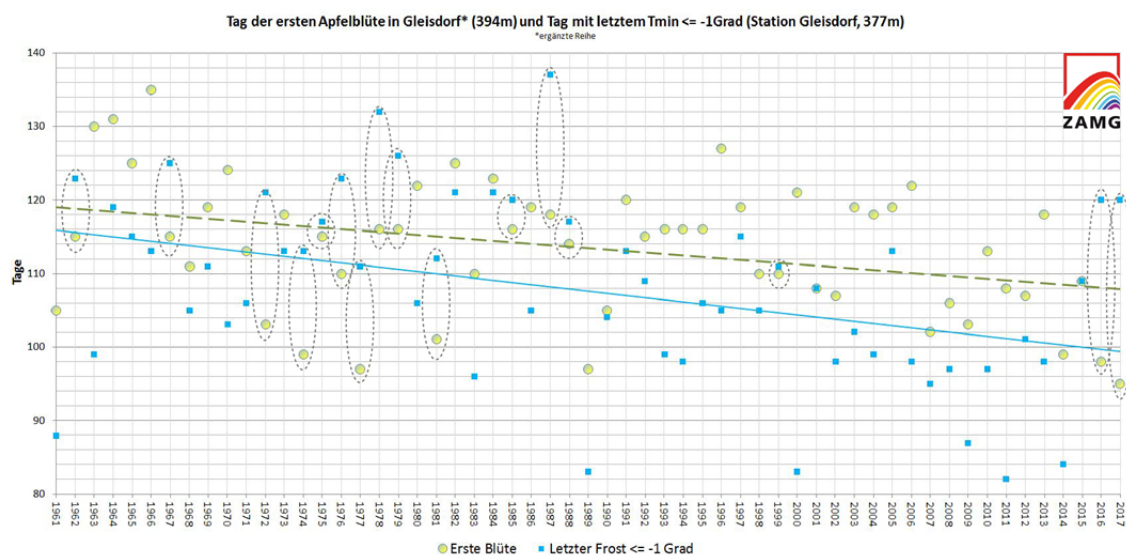


Abbildung 6: Datum der Apfelblüte in Gleisdorf und Temperaturwerte der Station Gleisdorf

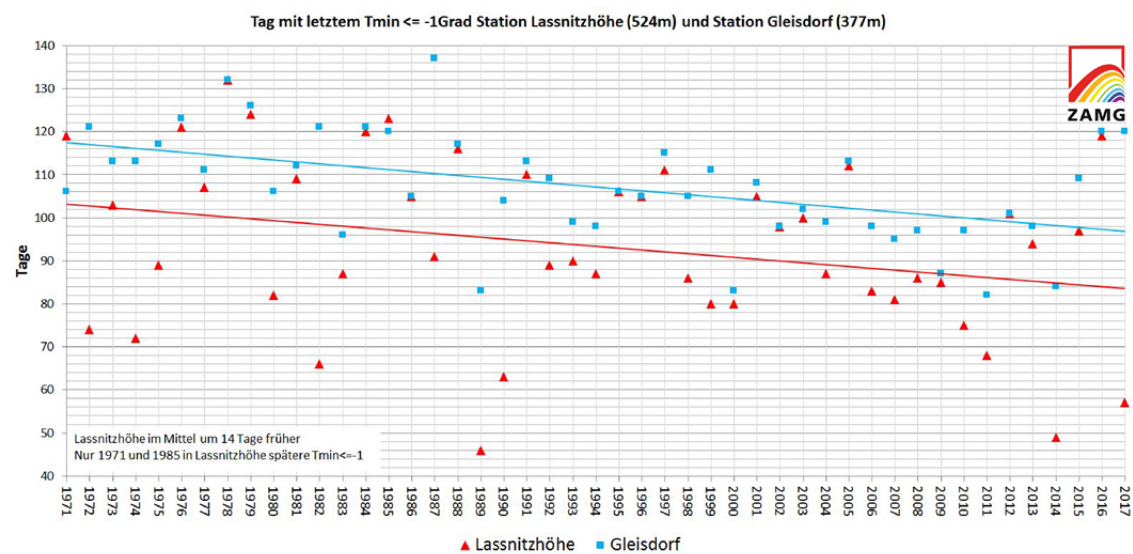


Abbildung 7: Vergleich der Stationen Lassnitzhöhe und Gleisdorf

4 DIE LEHREN AUS DEN FROSTJAHREN 2016 UND 2017: RASCH UND STRUKTURIERT HANDELN! (LEONHARD STEINBAUER UND THOMAS RÜHMER)

Die schwierigen Jahre 2016 und 2017 haben den Dauerkulturen in der Steiermark massiv zugesetzt. Die aktuelle Situation in der Dauerkulturbranche fordert von jedem Betriebsführer eine sofortige Entscheidung: Wie kann der Betrieb unter schwierigeren Rahmenbedingungen weitermachen oder wird der Dauerkulturbereich auslaufen? Für diejenigen, die die Herausforderung annehmen gilt es die letzten beiden Jahre genau zu analysieren, um die richtigen Entscheidungen treffen zu können.

Die Wettbewerbsfähigkeit eines Betriebes ist von zwei wesentlichen Faktoren abhängig: von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und den Standortfaktoren. Diese Rahmenbedingungen (z.B. Steuern, Arbeitskosten, Betriebsmittelkosten, Erzeugerpreise) zu gestalten ist für den Einzelnen – abgesehen von der Stimmabgabe bei Wahlen – kaum möglich.

Anders ist das bei den gestaltbaren (disponiblen) und gegebenen (natürlichen) Standortfaktoren. Zu den wesentlichen disponiblen Standortfaktoren gehören die Ausbildung und die Förderungen. Die natürlichen Standortfaktoren sind Lage, Klima und Boden; diese beeinflussen die Wahl geeigneter Standorte.

Die Standortwahl erfordert in Zukunft noch mehr Aufmerksamkeit, denn alle gängigen Methoden zur Abwehr von witterungsbedingten Gefahren können die Nachteile eines ungeeigneten Standortes nicht aufheben. Ja selbst bewährte Standorte hatten in den letzten beiden Jahren massive Probleme mit Spätfrösten. Die Verluste sind abhängig von der Art der Kultur unterschiedlich ausgefallen.

Die größten Probleme gab es bei den Steinobstarten Kirsche, Marille und Pfirsich (Grafik 1). Im Kernobstanbau konnte nach einer Fünftel-Ernte im Vorjahr 2017 eine 50 Prozenternte eingefahren werden (Grafik 2). Begünstigt im Dauerkulturbereich war die Weinwirtschaft, die zwar den massiven Ausfall aus dem Jahr 2016 zu verarbeiten, im Jahr 2017 hingegen eine sehr gute Ernte hatte.

Für uns als Versuchsbetrieb waren es auch zwei Jahre, in denen wir kaum Versuchsergebnisse erarbeiten konnten. Wie die Grafiken 4 und 5 zeigen, hatten wir in diesen beiden Jahren je 4 Frostnächte mit Temperaturminima von bis zu minus 5° Celsius. Deshalb haben wir sofort im Frühjahr mit der Planung von Maßnahmen zur Frostabwehr begonnen. Alle notwendigen Genehmigungen sind seit Ende November vorhanden.

Das betrifft den Teichbau für die Frostberegung, die Aufstellung einer Windmaschine und Rodungen zur Vergrößerung der geschützten Flächen.

Wir hoffen, alle Flächen am Standort Haidegg in der Saison 2018 schützen zu können. Im Falle von Inversionswetterlagen im Winter planen wir Versuche zur Optimierung der Aufstellung von Frostkerzen am Hang.

4.1 GRUNDSÄTZLICHE FRAGEN ZUR FROSTBEKÄMPFUNG

Welche Fragen muss man vor einer Methoden- oder Anlagenplanung aus der Erfahrung der letzten Jahre heraus beantworten.

■ Welche Tiefsttemperaturen müssen bekämpft werden können?

Die letzten Frostereignisse haben im Obstbau immer die jungen Früchte betroffen, die abhängig von der Obstart zwischen minus 0,5° (Marille) und minus 1,5° Celsius (Apfel) aushalten.

■ Mit welcher Anzahl von Frostnächten ist zu rechnen?

In den meisten Gebieten waren zwei bis drei Frostnächte zu überstehen, in manchen Lagen bis zu fünf.

■ Welche Sicherheit wird als ausreichend eingestuft?

Dazu muss man sich diese Fragen stellen: Kann der Betrieb ein Restrisiko verkraften? Sind noch Reserven oder ein Zusatzeinkommen vorhanden?

Diese drei Fragen sind wesentlich für die Dimensionierung der Frostbekämpfungstechnik, denn es ist kontraproduktiv, viel Geld einzusetzen, um dann doch nicht erfolgreich zu sein.

Falls die Ressourcen beschränkt sind stellt sich die vierte, insbesondere jedoch die fünfte Frage.

■ Welche Standorte werden ausgerüstet?

■ Welche Standorte werden in Zukunft bepflanzt?

4.2 PRÄVENTIVMAßNAHMEN

Neben der aktiven Frostbekämpfung sollen alle möglichen Präventivmaßnahmen durchgeführt werden: im Weinbau der spätere Rebschnitt - der den Austrieb verzögern kann - auf frostgefährdeten Lagen. Im Obstbau die Verbesserung der Befruchtung bei nicht selbstfruchtbaren Obstarten und Sorten. Das kann bedeuten: mehr Befruchter-Bäume, mehr Befruchter-Sorten und mehr Arten an Bestäubungsinsekten! Staulagen im Obst- und Weinbau sollen entschärft werden, indem gezielte Rodungen für den Kaltluftabfluss vorgenommen werden; man spricht dabei von Kaltluftdrainagen.

Zur Blüte stehen die drei bekannten Präventivmaßnahmen zur Verfügung:

■ Das Räuchern zur Verminderung der Abstrahlung.

■ Den Mulchrasen kurz mähen, um die abstrahlende Oberfläche zu verkleinern.

■ Den Boden mit Wasser sättigen, damit die Wärmeabgabe verbessert wird.

Wichtig ist jedenfalls eine ausreichende Risikoversicherung, denn der Klimawandel findet statt!

4.3 „AUGUSTIN-SORTEN“ – WELCHE SORTEN SIND IN DEN FROSTJAHREN AUFGEFALLEN?

Der Legende nach war der 36-jährige Augustin 1679 während der Pestepidemie wieder einmal betrunken und wollte seinen Rausch ausschlafen. „Siech-Knechte“, die damals die Opfer der Epidemie einsammeln mussten, fanden ihn, hielten ihn für tot und warfen die „Schnapsleiche“ in ein offenes Massengrab mit Pesttoten; Augustin wurde trotzdem nicht mit der Pest angesteckt.

Apfel

Die beiden Frostjahre 2016 und 2017 haben sich beim Apfel sehr unterschiedlich ausgewirkt. Nachdem 2016 kaum nennenswerte Erträge unabhängig von der Sorte erzielt wurden, waren im Jahr 2017 einige Sorten gar nicht so stark betroffen. Die beiden Hauptsorten im steirischen Anbau, Golden Delicious und Gala, zeigten in den Versuchsanlagen durchwegs gewohnt hohe Erträge. Im Vergleich dazu waren die Sorten Braeburn und Topaz leer.

Spät blühende Apfelsorten haben die Einwirkungen der Spätfröste in beiden Jahren deutlich besser überstanden. In unserem Sortenerhaltungsgarten sind extreme Spätblüher wie z.B. Spätblühender Taffetapfel und Eslacher Luiken dahingehend aufgefallen. Bei der Prüfung von neuen Sorten ist vor allem im Vorjahr die Sorte „Shinano Gold“ aufgefallen, die allerdings im Jahr 2017 wieder stärker vom Frost betroffen war. Das lässt wohl den Rückschluss zu, dass es beim Apfel stark darauf ankommt, in welchem Entwicklungszustand sich die Blüte während der Frosteinwirkung gerade befindet.

Generell war zu beobachten, dass die Neigung zu Nachblüten im Jahr 2017 bei fast allen Sorten merkbar höher war. Dadurch waren bei der Ernte mehr kleine und unterentwickelte Früchte auf den Bäumen zu finden.

Birnen

Bei den Birnen hat sich in beiden Jahren eine Sorte von allen anderen abgehoben: Die „Augustin-Sorte“ bei den Birnen ist Pear 1. Alle anderen in Prüfung befindlichen Birnensorten waren trotz Einsatz von Gibberellinen leer. Pear 1 brachte auch heuer wieder gute Erträge und schöne Qualitäten.

Steinobst

Beim Steinobst gab es nur sehr wenige Überraschungen, da die Frostschäden in beiden Jahren massiv waren. Bei den Kirschen ist die zweifarbige Sorte Stardust mit knapp 20 Kilogramm je Baum im Jahr 2016 äußerst positiv aufgefallen, und bei den Pfirsichen brachte die Verarbeitungssorte Babygold 6 im Jahr 2017 beachtliche Erträge.

5 UMFRAGE ZUM SPÄTFROST 2017 (MICHAEL KERNITZKYI, SIMONE ABERER UND MARIANNE FEICHTINGER-HOFER)

Nach dem Frostereignis 2017 wurde von der Landwirtschaftskammer Steiermark in Kooperation mit JOANNEUM RESEARCH ein Fragebogen erstellt und eine zeitnahe Erhebung der unternommenen Abwehrmaßnahmen, erzielten Wirkungen und gewonnenen Erfahrungen durchgeführt. Der Fragebogen konnte online oder per Papierbogen vom 06. Mai bis zum 16. Juni 2017 ausgefüllt werden. Die Befragung richtete sich sowohl an Betriebe, die Maßnahmen getroffen hatten, als auch an solche, die keine Abwehrmaßnahmen ergriffen hatten. Im Jahr 2017 traten zwei Frostnächte auf, insbesondere in der zweiten Nacht (von 20. auf 21. April) wurden von zahlreichen Betrieben Abwehrmaßnahmen durchgeführt. Da die Bedingungen in der Obst- und Weinbauregion ziemlich einheitlich waren und ein klassisches Strahlungsfrostereignis vorlag, können die Erfahrungen der Betriebe gut verglichen und Schlüsse daraus gezogen werden. Der Fragebogen bezog sich daher explizit auf Erfahrungen und Angaben zu dieser Nacht.

Ziele der Befragung waren:

- Bewertung einzelner bekannter Maßnahmen und Erhebung von Erfahrungen direkt von den betroffenen LandwirtInnen
- Datensammlung zu Temperaturminima, Exposition und Seehöhe der Anbauflächen sowie Einschätzung der Schäden im Vergleich zu Kontrollflächen
- Informationsgewinn zu verschiedenen (teilweise neuen oder selbstentwickelten) Spätfrost-Bekämpfungsmethoden

Die Ergebnisse der Befragung dienen als Basis für die weitere Vorgehensweise und liefern wichtige Hinweise zu den Problemen und Fragestellungen, vor denen die Obst- und Weinbaubetriebe stehen.

Für den Weinbau wurden 274 Fragebögen, für den Obstbau 228 Fragebögen ausgefüllt.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die LandwirtInnen auf jeden Fall bereit sind, den Frost aktiv zu bekämpfen, jedoch unbedingt weiterführende Information über die Anwendung bestehender sowie neuer Bekämpfungsmethoden benötigen. Die unterschiedlichen Kulturen erfordern zudem verschiedene Methoden und Strategien, damit den jeweiligen Anforderungen der Kulturart oder des Standortes Rechnung getragen werden kann. Für Kernobst wurde die Frostberegnung als wirkungsvollste Maßnahme beurteilt, für Steinobst und Weinbau waren es die Heizmaßnahmen. Aufgrund der unterschiedlichen Methoden und Durchführungsvarianten schwankten die Kosten für die Abwehrmaßnahmen stark. Die Betriebe setzen altbekannte Abwehrmaßnahmen ein, es wurden aber auch viele Versuche mit neuen Methoden gemacht und eigene Ideen umgesetzt. Die Schäden fielen im Obstbau wesentlich stärker als im Weinbau aus, wobei bei allen Kulturen das Entwicklungsstadium entscheidend für den Grad der Schädigung war. Weiters wurde der große Einfluss der Lage deutlich, was natürlich auch damit zusammenhängt, dass 2017 ein reines Strahlungsfrostereignis vorlag.

5.1 GEOGRAFISCHE VERTEILUNG

Um die Antworten geografisch zuzuordnen, wurde gefragt, in welchem Bezirk die Obst- bzw. Weinbauflächen liegen. Für den Weinbau kamen die meisten Antworten (107) aus dem Bezirk Leibnitz, für den Obstbau aus dem Bezirk Weiz (99). Mehrfachnennungen waren möglich.

5.2 TEMPERATUREN

Die Betriebe wurden nach den gemessenen Temperaturen gefragt, wobei im Bereich Obstbau nach der einzelnen Anlage gefragt wurde; im Weinbau hingegen nur nach der niedrigsten gemessenen Temperatur. Die Vergleichbarkeit und Aussagekraft der Daten wird eingeschränkt durch die unterschiedlichen Messhöhen und Messgeräte, die sich hinsichtlich Genauigkeit unterscheiden dürften.

Die Obstbaubetriebe gaben Temperaturen zwischen -10°C und $+7^{\circ}\text{C}$ an, wobei die Angaben der hohen positiven Temperaturen (4°C und darüber) vermutlich auf Eingabefehlern beruhen, da in mancher dieser Datensätze bei anderen Antworten auch Minustemperaturen bzw. Totalschäden erwähnt wurden. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Weinbaubetrieben: Die Temperaturen schwankten zwischen -10°C und $+6^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 8 zeigt die Angaben der Temperaturmessung für den Obst- und Weinbau für das Spätfrostereignis 2017.

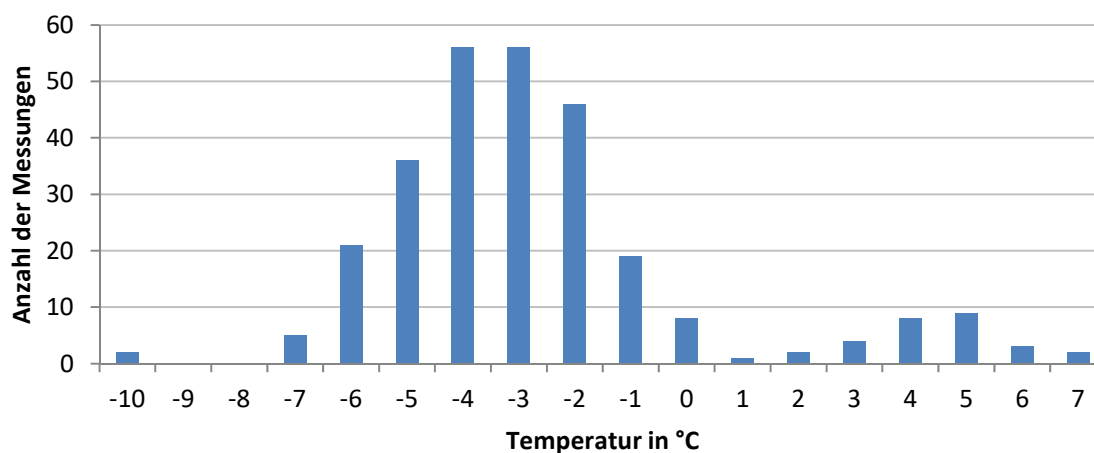


Abbildung 8 Gemessene Temperaturen, Obstbau und Weinbau

Beim Weinbaufragebogen wurde zu den gemessenen Temperaturen auch die Höhenlage und Ausrichtung abgefragt. Die Sortierung der Temperaturen unter 0°C nach Bezirken und Darstellung in Abhängigkeit zur Höhenlage zeigt insgesamt eine Tendenz: Mit steigender Höhe lagen die Temperaturen weniger tief. Für den südlichen Teil des Weinbaugebietes Vulkanland Steiermark (Bezirk Südoststeiermark) ist kein Zusammenhang erkennbar, dies gilt auch für die Bezirke Weiz und Hartberg-Fürstenfeld. Für das Weinbaugebiet Südsteiermark (Bezirk Leibnitz) und Weststeiermark (Bezirke Voitsberg und Deutschlandsberg) ist einerseits sichtbar, dass die Weingärten auf verschiedenen Hö-

hen verteilt sind und dass andererseits mit zunehmender Höhe weniger tiefe Temperaturen gemessen wurden.

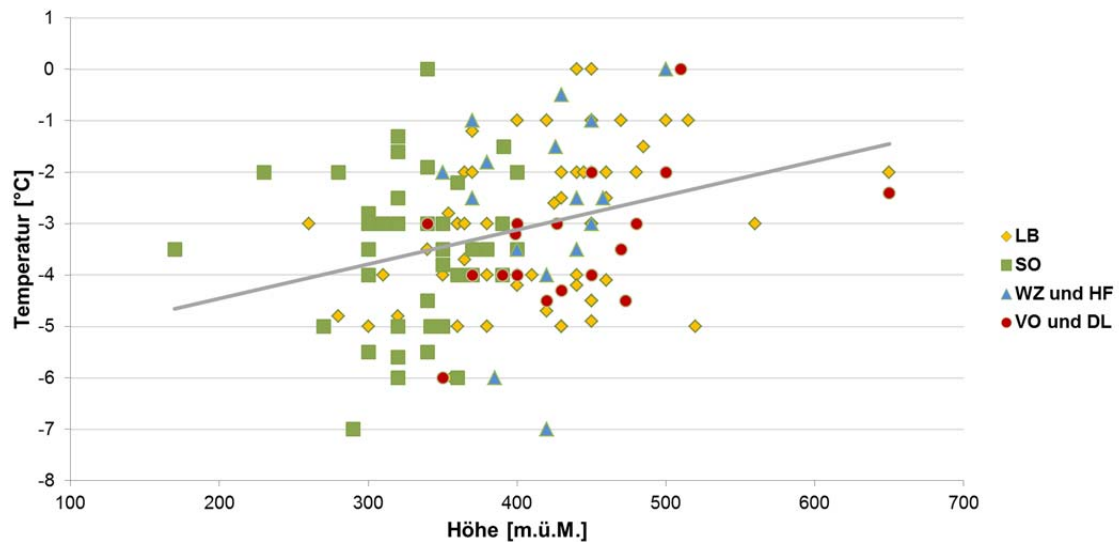


Abbildung 9: Temperaturen unter 0°C in Abhängigkeit zur Höhenlage mit Trendlinie über allen Punkten (Weinbau)

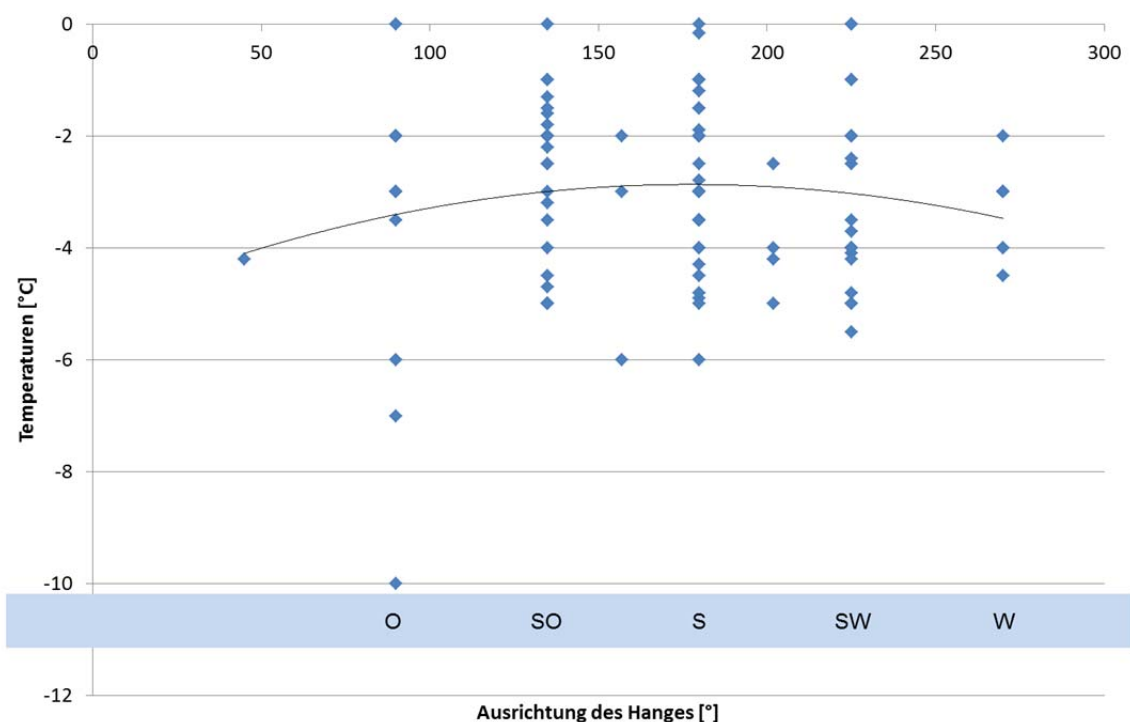


Abbildung 10: Temperaturen unter 0°C in Abhängigkeit zur Ausrichtung (Weinbau)

Hinsichtlich der Ausrichtung der Flächen waren weniger Daten vorhanden. Werden die Temperaturen unter 0°C in Bezug zur Ausrichtung gesetzt, kann eine leichte Tendenz erkannt werden, dass die Temperaturen auf Lagen mit Südeinfluss höher waren als auf reinen Ost- oder Westlagen (Abbildung 10).

5.3 VERTEILUNG UND AUSMAß DER SCHÄDEN

Für beide Sparten wurde nach der Verteilung der Schäden in Bezug auf die Lage (Höhenlage und Ausrichtung) gefragt. Beim Obstbau-Fragebogen wurde diese Frage nur den Betrieben gestellt, die keine Abwehrmaßnahmen durchgeführt hatten, beim Weinbau-Fragebogen wurde die Frage allen Betrieben gestellt. Dabei bezog sich die Frage bei den Weinbaubetrieben mit Abwehrmaßnahmen auf die Flächen, auf denen keine Maßnahmen durchgeführt wurden. Der Vergleich der Antworten dieser beiden Fragen zeigte vergleichbare Ergebnisse.

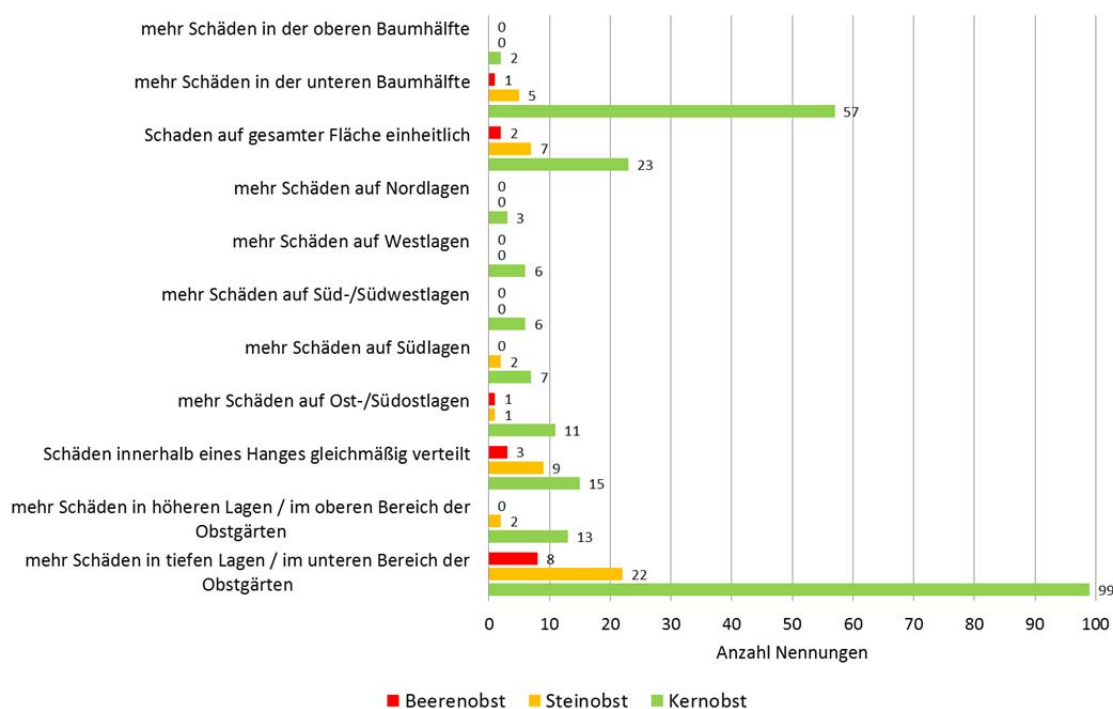


Abbildung 11: Verteilung der Schäden ohne Maßnahmen, Obstbau (Mehrfachnennungen möglich)

Sowohl für den Obst- als auch für Weinbau war eine deutliche Häufung bei den tiefen Lagen zu erkennen (Abbildung 11 und Abbildung 12). Für die Obstkulturen wurde zudem nach der Verteilung der Schäden innerhalb der Bäume gefragt; dort zeigte sich eine klare Häufung der Schäden in der unteren Baumhälfte. Im Gegensatz zum Weinbau gab es beim Obstbau aber etwas mehr Angaben zu gleichmäßig verteilten Schäden bzw. stärkeren Schäden auf höheren Lagen oder im oberen Bereich der Anlagen. Bezüglich der Ausrichtung der Flächen wurden sowohl für den Obst- als auch für den Weinbau auf Südlagen und besonders auf Südost-/Ostlagen stärker ausgeprägte Schäden beobachtet. Dies kann mit dem Vegetationsstadium der Kulturen zusammenhängen oder mit der zügigeren Erwärmung des gefrorenen Gewebes nach der Frostnacht. Frühaustreibende Sorten wie Muskateller, Morillon, Zweigelt und Schilcher wurden am stärksten geschädigt, später treibende Sorten (z.B. Sauvignon blanc, Welschriesling) waren weniger betroffen.

Von den befragten Weinbaubetrieben, die Maßnahmen durchgeführt hatten, gaben 18 an, dass sie auf allen Flächen Abwehrmaßnahmen durchgeführt hatten (Abbildung 12). Bei der Schadenseinschät-

zung lag der Schwerpunkt im Bereich Weinbau in den Kategorien „keine/kaum Schäden“ und „bis 20% geschädigte Triebe“.

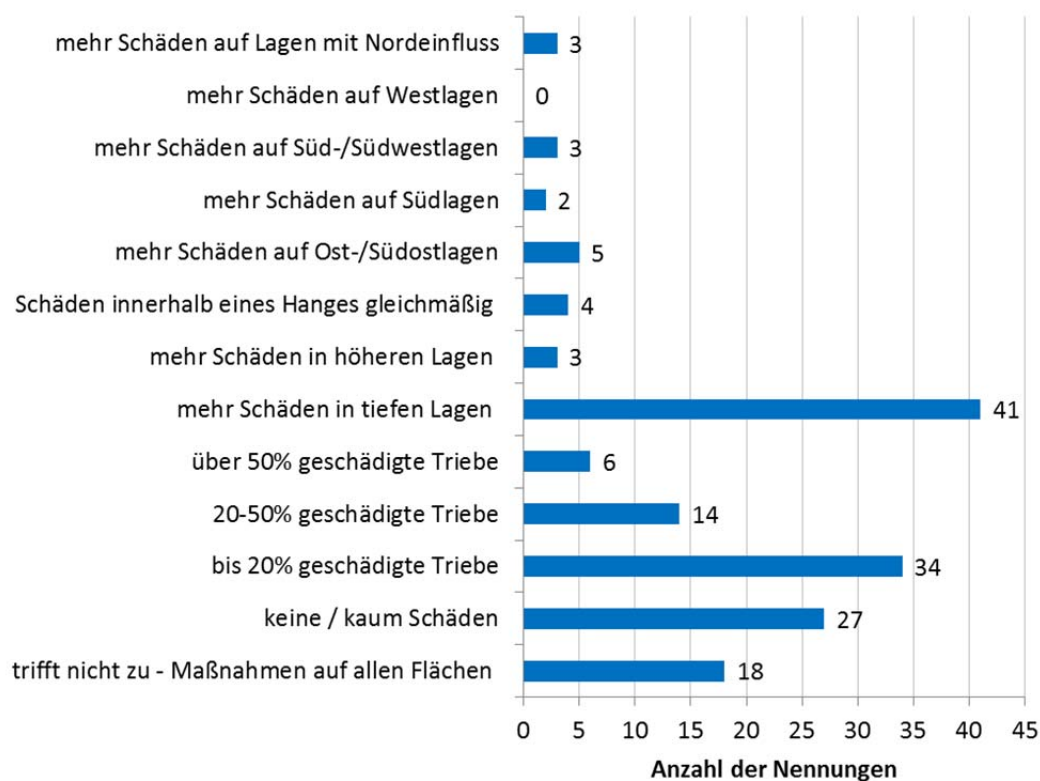


Abbildung 12 Schäden auf Flächen ohne Maßnahmen, bei Betrieben, die Maßnahmen durchgeführt haben, Weinbau (Mehrfachnennungen möglich)

Für die Obstkulturen wurde sowohl nach dem Ausmaß als auch der Art der Schäden gefragt, wobei eine Angabe für Flächen mit und für Flächen ohne Abwehrmaßnahmen für bis zu vier Flächen bzw. Kulturen möglich war. In Abbildung 13 sind die Mengenverluste und Qualitätseinbußen für Flächen ohne Maßnahmen dargestellt. Im Gegensatz zum Weinbau lag der Hauptteil der Antworten bei einem hohen Schädigungsgrad (über 50%, nahezu 100%), besonders für Kern- und Steinobst. Für Beerenobst wurden die Schäden weniger hoch eingestuft.

Auffällig war die große Anzahl der Antworten, die sehr unterschiedliche Schäden beim Kernobst feststellten. Diese große Varianz der Schädigung wurde auch in den Anmerkungen beschrieben. Es konnte keine klare Tendenz zu einer Sortenabhängigkeit festgestellt werden, die einzelnen Anmerkungen wichen teilweise stark voneinander ab. Entscheidender als die Sorte an sich war vermutlich das Entwicklungsstadium, in dem sich die Kultur befand.

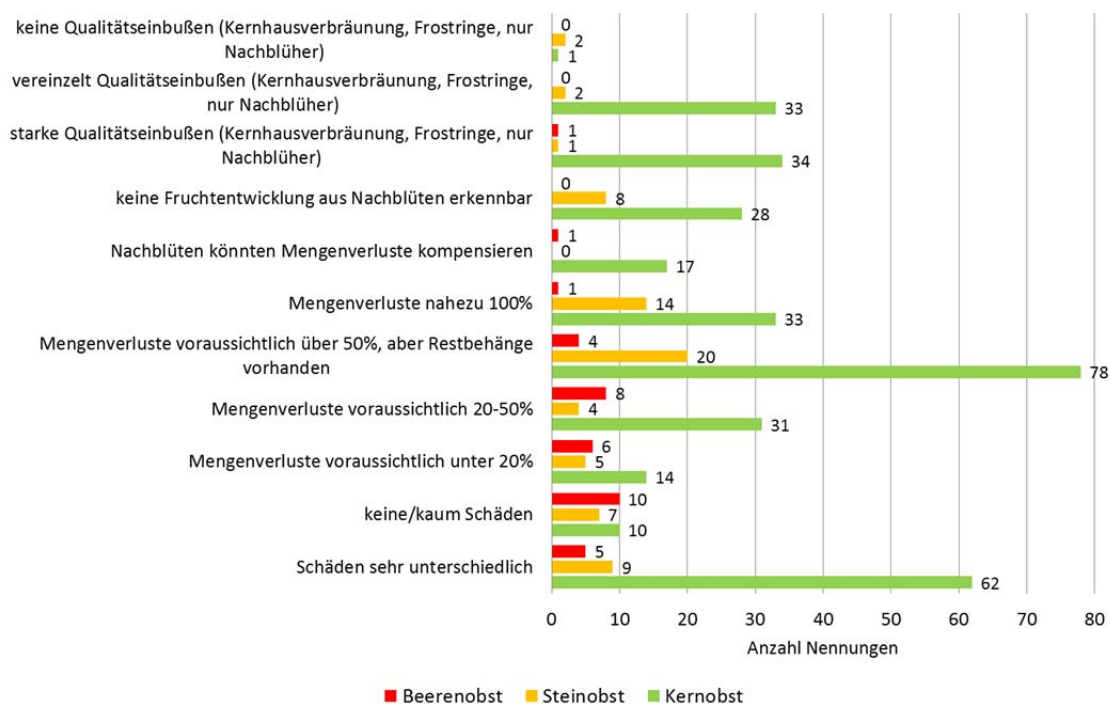


Abbildung 13: Ausmaß und Art der Schäden ohne Maßnahmen, Obstbau (Mehrfachnennungen möglich)

5.4 DURCHFÜHRUNG VON ABWEHRMAßNAHMEN

Die Obst- und Weinbaubetriebe wurden gefragt, ob sie in der Nacht vom 20. auf den 21. April Frostabwehrmaßnahmen durchgeführt hatten. Bei den Weinbaubetrieben gaben 60% der Befragten an, Abwehrmaßnahmen getroffen zu haben, bei den Obstbaubetrieben waren es 49%.

Diejenigen, die die Frage mit Ja beantwortet hatten, wurden in weiterer Folge näher zu den durchgeführten Maßnahmen befragt. Die Betriebe wurden gefragt, welche Maßnahmen durchgeführt wurden, wobei Mehrfachnennungen möglich waren. Die Aufteilung von Kern- und Steinobst zeigt klare Unterschiede bezüglich der Vorgehensweise. Bei Steinobst war Räuchern und Heizen wesentlich wichtiger als bei Kernobst, bei Kernobst war hingegen die Frostberegnung eine häufig angewendete Methode. Mikrosprinkler wurden nur vereinzelt eingesetzt. Sowohl bei Kern- als auch bei Steinobst wurden Pflanzenstärkungsmittel/Frostschutzmittel eingesetzt sowie Hagelnetze geschlossen, und es wurde gemulcht.

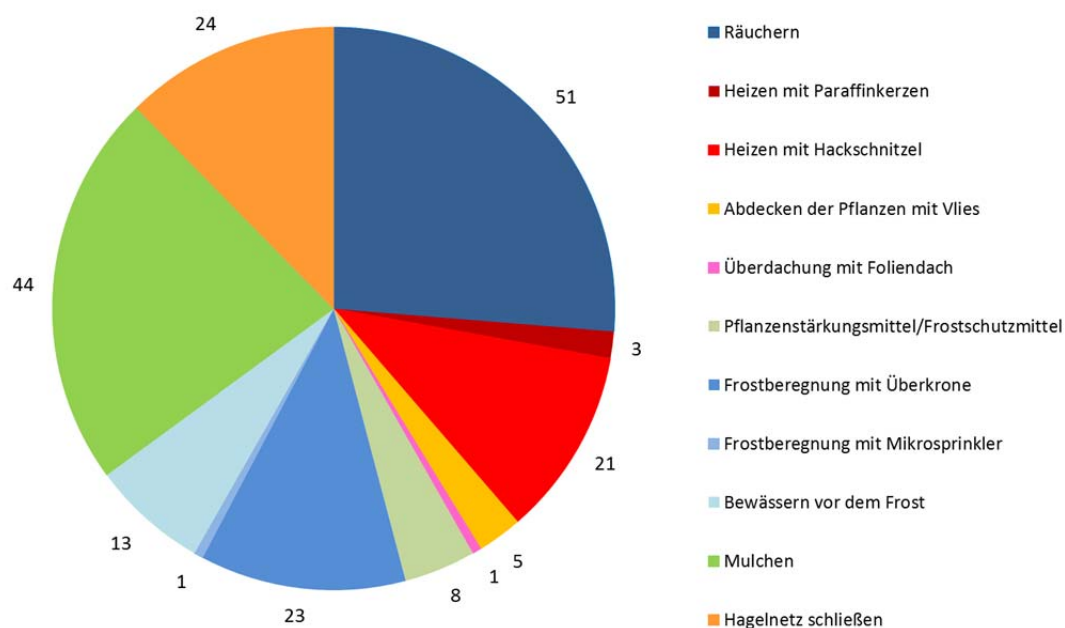


Abbildung 14: Durchgeführte Maßnahmen, Kernobst (Anzahl Nennungen, Mehrfachnennungen möglich)

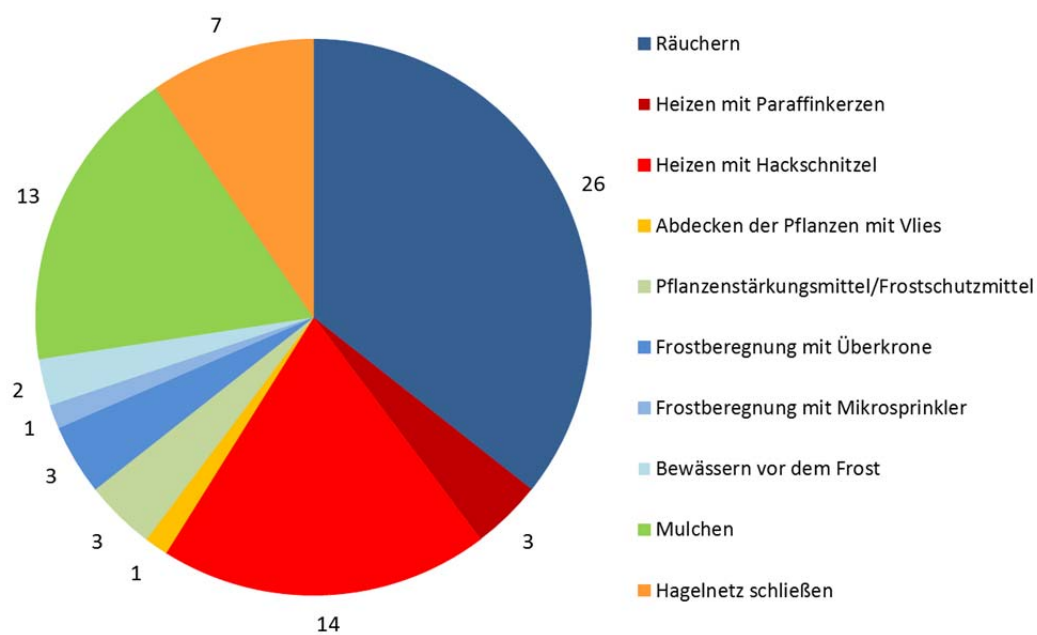


Abbildung 15: Durchgeführte Maßnahmen, Steinobst (Anzahl Nennungen, Mehrfachnennungen möglich)

Beim Beerenobst waren die häufigsten Methoden Abdecken mit Vlies/Doppelvlies (8 Nennungen), Räuchern (5 Nennungen) und Mulchen (4 Nennungen). Weiters wurden genannt: das Schließen von Hagelnetzen, die Überdachung mit Foliendach, das Schließen des Regendachs, die Frostberegnung und das Heizen mit Hackschnitzel oder Paraffinkerzen (ohne Abbildung).

Bei den Weinbaubetrieben war Räuchern die häufigste Maßnahme, gefolgt von Heizen und Mulchen. Das Heizen erfolgte mit diversen Heizmaterialien (Hackschnitzel, Holzscheiter, Holzkerzen, Pellets, Dosen mit Öl), nur ein Betrieb gab an, Paraffinkerzen verwendet zu haben. Es wurden auch ganz andere Lösungen gesucht, z.B. wurde eine Anlage mit einer Zeltheizungsanlage vor dem Frost geschützt. Die Heizmaßnahmen wurden oft mit Räuchern kombiniert. Pflanzenstärkungsmittel, Blattdünger und Pflanzenschutzmittel sowie Vliese oder Folien kamen bei einigen Betrieben zum Einsatz, allerdings oft nur auf Versuchsflächen. Von einem Betrieb wurden Helikopter eingesetzt.

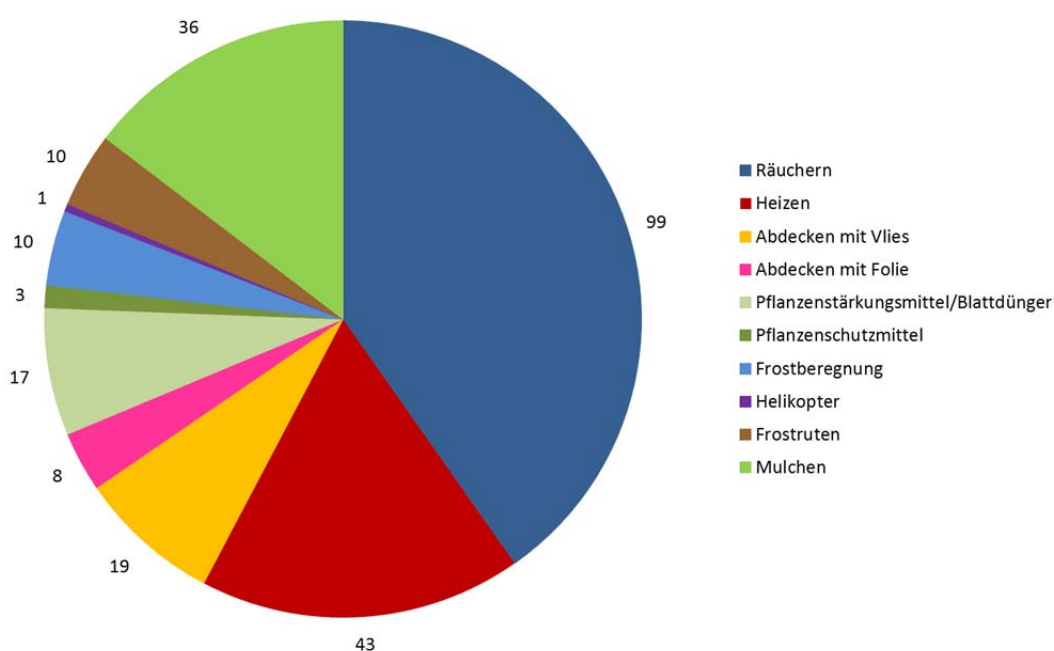


Abbildung 16: Durchgeführte Maßnahmen, Weinbau (Anzahl Nennungen, Mehrfachnennungen möglich)

5.5 BEWERTUNG DER WIRKSAMKEIT VON ABWEHRMAßNAHMEN

Die Bewertung der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen in Abbildung 17 enthält die Summe der Bewertungen über Kern-, Stein- und Beerenobst. Die Frostberegnung wurde als wirksam bewertet, die Mehrheit der Betriebe gab bei Kernobstanlagen mit Frostberegnung bei richtiger Anwendung keine/kaum Schäden oder Ertragsverluste unter 20% an¹ (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19). Schwierigkeiten bei der Frostberegnung waren die Bestimmung des richtigen Einschaltzeitpunktes sowie der Wind, der für das Einschalten zu stark war. Zu Mikrosprinklern wurden von zwei Betrieben Angaben gemacht.

Heizen mit Paraffinkerzen wurde etwas besser eingeschätzt als Heizen mit Hackschnitzel, das Räuchern wurde deutlich negativer als im Weinbau bewertet. Die Anzahl der Paraffinkerzen wurde von zwei Betrieben mit 500 bzw. 600 angegeben, unter Folie (Himbeere) konnte der Ertrag in einem Fall mit 100 Kerzen gesichert werden. Beim Steinobst wurden Paraffinkerzen am besten bewertet, allerdings wurden zu den Kerzen nur von wenigen Betrieben Angaben gemacht.

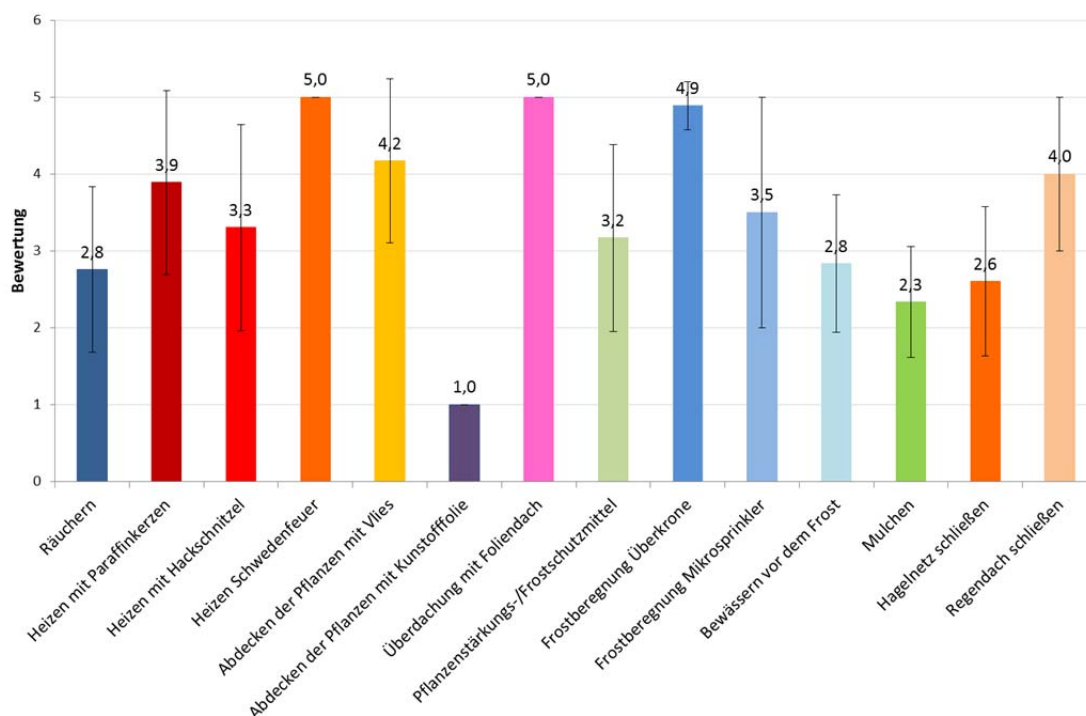


Abbildung 17: Bewertung der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen im Obstbau, 1 (mehr Schäden) bis 5 (deutlich positiver Effekt), Mittelwerte und Standardabweichung

Pflanzenstärkungs- oder Frostschutzmittel zeigten kaum Effekte, teilweise wurde sogar eine gegenteilige Wirkung beobachtet. Durch das Mulchen war wenig Wirkung festzustellen, allerdings merkten die Betriebe teilweise an, dass die Maßnahme auf der ganzen Fläche durchgeführt oder mit anderen Maßnahmen kombiniert wurde, was die Bewertung natürlich erschwerte.

Die Maßnahmen „Heizen mit Schwedenfeuer“, „Abdecken mit Vlies“, „Abdecken mit Kunststoffolie“, „Überdachung mit Foliendach“ und „Regendach schließen“ wurden nur von einzelnen Betrieben angewendet, die Bewertung ist unter diesem Aspekt zu sehen.

Die Schätzung der Ertragsverluste für die am häufigsten angewendeten Methoden im Vergleich zu den Anlagen ohne Frostschutzmaßnahmen zeigt die Wirkung der verschiedenen Maßnahmen deutlich auf. Die Frostberegnung und die Paraffinkerzen konnten die Ertragsverluste am stärksten mindern. Worauf die unterschiedlichen Effekte beim Räuchern zurückzuführen sind, war nicht festzustellen; möglicherweise wurde mit unterschiedlicher Intensität geräuchert oder die Lageneffekte spielten eine Rolle.

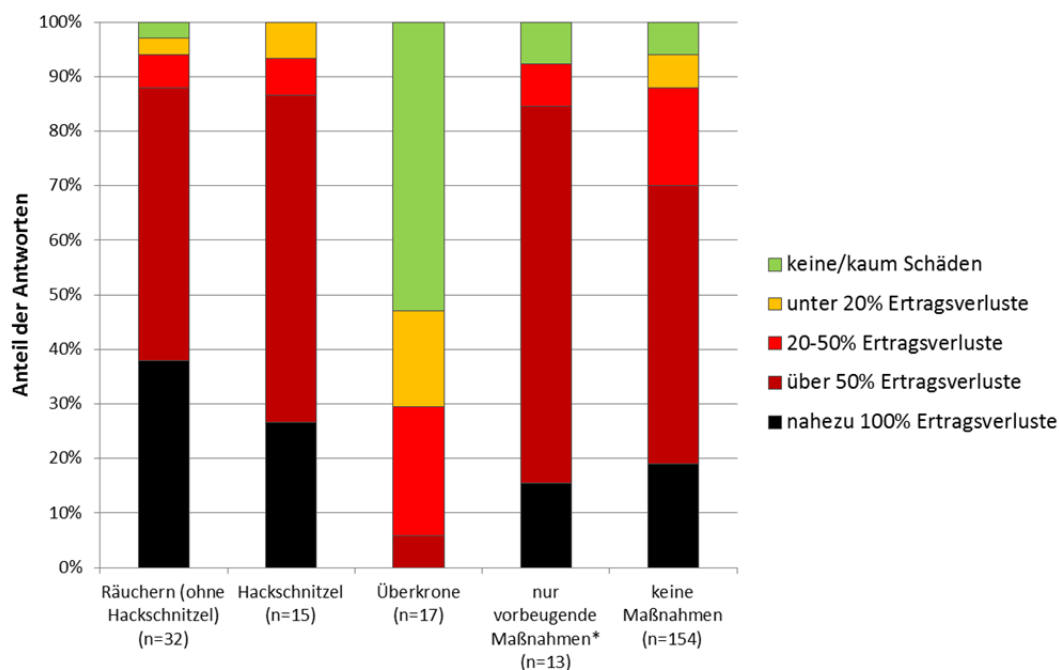


Abbildung 18: Geschätzte Ertragsverluste bei Kernobstanlagen mit und ohne Frostschutzmaßnahmen (n=Gesamtanzahl Daten, *nur Mulchen, Hagelnetz schließen, Bewässern vor dem Frost), verändert nach Karlinger²

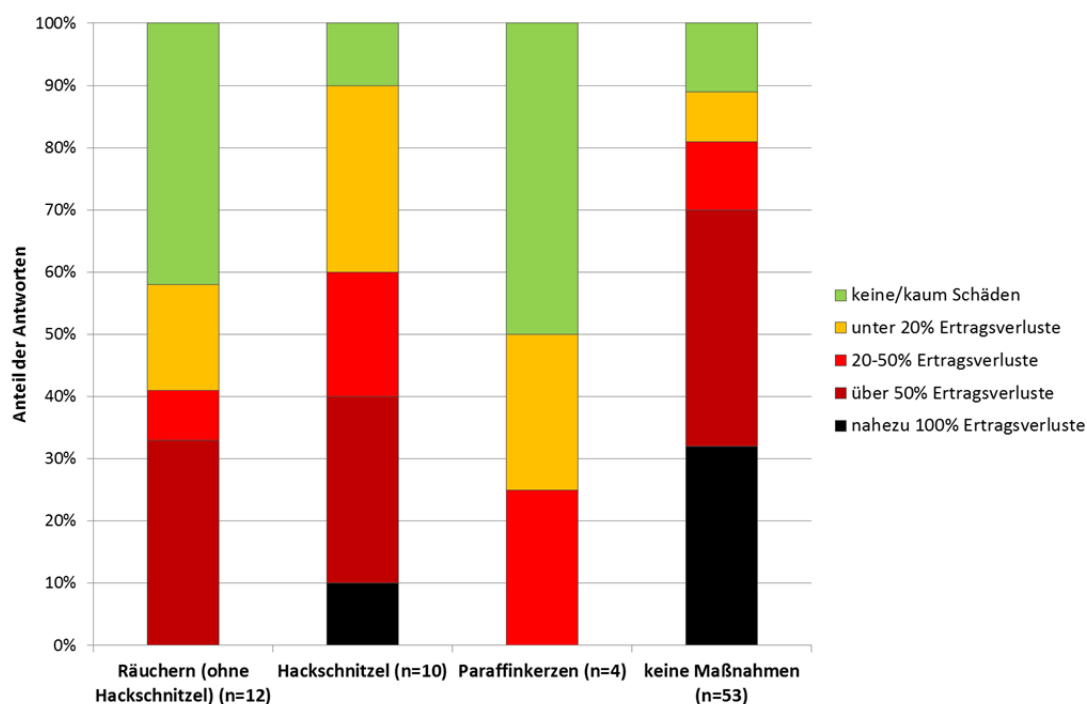


Abbildung 19: Geschätzte Ertragsverluste bei Steinobstanlagen mit und ohne Frostschutzmaßnahmen (n=Gesamtanzahl Daten, *nur Mulchen, Hagelnetz schließen, Bewässern vor dem Frost), verändert nach Karlinger³

Die Ergebnisse der Weinbau-Umfrage wichen teilweise deutlich von den Obstbau-Ergebnissen ab (Abbildung 20).

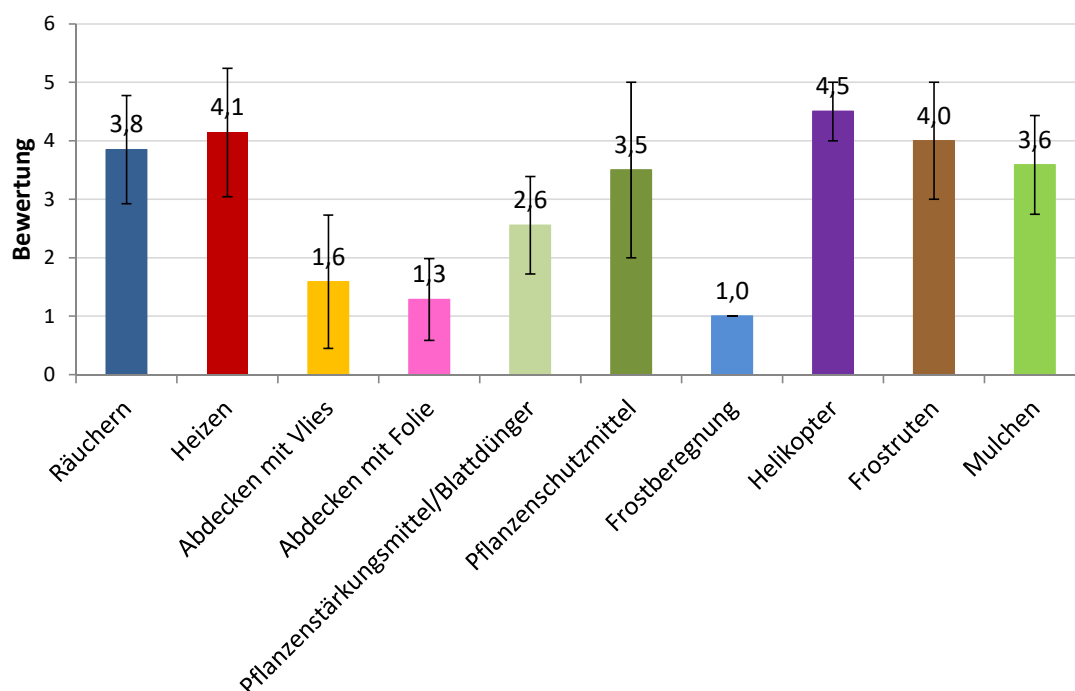


Abbildung 20: Bewertung der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen im Weinbau, 1 (mehr Schäden) bis 5 (deutlich positiver Effekt), Mittelwerte und Standardabweichung

Die Heizmaßnahmen wurden von den Weinbaubetrieben am besten bewertet, jedoch weisen die Brennmaterialien deutliche Unterschiede auf. Bei den Hackschnitzeln, Holzkerzen und Pellets wurde einige Male angemerkt, dass die Brenndauer und Wärmeentwicklung zu gering und das Nachlegen sehr aufwendig war. Die Paraffinkerzen und Eigenbau-Öllampen wurden durchgängig sehr gut beurteilt. Die Anzahl der Heizstellen schwankte zwischen 60-250 bei holzbasierten Varianten und 250-400 bei den Eigenbau-Öllampen. Das Abdecken mit Vlies und Folien wurde im Weinbau negativ bewertet, die Schäden waren stärker als ohne Maßnahme, bestenfalls war kein Unterschied zu erkennen. Die Frostberegnung führte in den meisten Fällen zu stärkeren Schäden als ohne Maßnahme, als Gründe wurden angegeben, dass die Verteilung des Wassers nicht ausreichend war oder zu geringe Wasservorräte vorhanden waren. Ein Betrieb konnte mit einer Reihenberegnung eine Teilfläche erfolgreich vor dem Frost schützen.

Pflanzenstärkungsmittel zeigten keinen positiven Effekt, während die Pflanzenschutzmaßnahmen leicht positiv bewertet wurden. Die Bewertung des Helikopters beruht auf einzelnen Bewertungen und hat damit eine beschränkte Aussagekraft. Frostruten und später Schnitt zeigten eine leicht positive Wirkung. Einige Betriebe führten gesonderte Schutzmaßnahmen bei Jungreben durch, wie z.B. Auffüllen der Hüllen mit Sägespänen, Steinwolle oder Heu. Die Wirkung wurde sehr unterschiedlich bewertet und reichte von mehr Schäden bis zu guter Wirkung.

5.6 KOSTEN FÜR DIE ABWEHRMAßNAHMEN

Die Obst- und Weinbaubetriebe wurden nach den angefallenen Kosten für die Abwehrmaßnahmen gefragt; die Kosten wurden in Arbeitszeit, Materialkosten und sonstige Kosten unterteilt. Tabelle 1 weist Arbeitsaufwand und Kosten für den Bereich Obstbau aus, Tabelle 2 die Werte für den Weinbau. Zum Mittelwert ist jeweils auch Minimum und Maximum angegeben. Zu bemerken ist, dass die Angaben oftmals durch hohe Schwankungsbreiten gekennzeichnet sind. So zeigt sich auch in den ergänzenden Fragestellungen, dass die Ausführungsvarianten der Abwehrmaßnahmen durchaus unterschiedlich waren. Zudem wurde in die Bewertung eingebrachtes Material oftmals unterschiedlich bewertet (z.B. Strohballen zum Räuchern).

Der höchste Arbeitsaufwand und die höchsten Materialkosten im Obstbau wurden im Bereich Überdachung mit Foliendach ausgewiesen. Dabei handelt es sich um eine dauerhafte Einrichtung, und hier wäre mit der entsprechenden Abschreibung anzusetzen; nähere Angaben hierzu sind nicht bekannt. Bei der Überkronenberegnung wurden ein durchschnittlicher Arbeitsaufwand von 34 Stunden/ha und durchschnittliche Materialkosten von 5.890 €/ha angegeben, wobei diesbezüglich in Einzelfällen auch Errichtungskosten oder die AfA eingerechnet wurden. Die Werte sind daher nicht gänzlich vergleichbar.

Im Weinbau erwies sich das Abdecken mit Vlies als teuerste Variante mit jedoch überschaubarem Effekt. Für das Heizen, das in der Wirkung gut bewertet wurde, wurden unterschiedliche Methoden angewendet, wobei die durchschnittliche Arbeitszeit bei ca. 10-20 Stunden lag, und die durchschnittlichen Kosten je nach Brennstoff zwischen 720 und 1.450 variierten. Das Schneiden von Frostruten, das ebenfalls positiv auswirkte, wurde mit einer zusätzlichen Arbeitszeit von rund 30 Stunden pro Hektar bewertet.

Obstbau	Arbeitsaufwand Stunden/ha			Materialkosten/ha in €		
	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
Räuchern	1	13	120	0	270	1.000
Heizen mit Paraffinkerzen	2	30	120	1.650	3.730	6.000
Heizen mit Hackschnitzel	3	13	52	0	170	520
Heizen Schwedenfeuer	8	8	8	0	0	0
Abdecken der Pflanzen mit Vlies	72	72	72	2.500	2.500	2.500
Überdachung mit Foliendach	150	175	200	10.000	55.000	100.000
Pflanzenstärkungs-/Frostschutzmittel	1	1	2	60	130	270
Frostberegnung	2	31	120	150	5.890	25.000
Bewässern vor dem Frost	1	1	1	20	20	20
Mulchen	1	3	8	0	40	100
Hagelnetz schließen	4	10	15	0	30	100

Tabelle 1 Arbeitsaufwand/Materialkosten pro Hektar nach Abwehrmaßnahmen im Obstbau

Weinbau	Arbeitsaufwand Stunden/ha			Materialkosten/ha in €		
	Min	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
Räuchern	1	10	50	0	250	1.700
Heizen mit Holz	3	20	75	50	720	2.400
Heizen mit Öl	5	20	40	700	880	1.250
Heizen mit Kerzen	8	10	8	800	1.450	2.100
Abdecken mit Vlies	18	60	160	950	3.120	12.050
Abdecken mit Folie	5	10	12	500	500	500
Pflanzenstärkungsmittel	1	0	2	10	100	200
Beregnung	6	20	25	300	2.370	4.800
Frostruten	30	30	30	0	0	0

Tabelle 2 Arbeitsaufwand/Materialkosten pro Hektar nach Abwehrmaßnahmen

5.7 VERGLEICH MIT DEN FROSTEREIGNISSEN 2016

Beim Obstbau ergab der Vergleich zum Frostereignis 2016 ein sehr unterschiedliches Bild. Es wurde von weniger, gleich viel und sogar mehr Schäden als 2016 berichtet. In Summe beeinflussten die Sorten- und Entwicklungsunterschiede den Schädigungsgrad stark.

Für den Weinbau war die Einschätzung ziemlich einheitlich, dass die Schäden 2017 wesentlich geringer ausgefallen sind als 2016.

Beim Vergleich geschädigter Lagen von 2016 und 2017 war keine Tendenz zu erkennen, was vermutlich mit den umfassenden Schäden von 2016 zusammenhängt.

5.8 WEITERE ANMERKUNGEN

Bei den Obstbaubetrieben bezogen sich einige Anmerkungen auf die Wasserverfügbarkeit und Wasserbereitstellung. Die Dauer der Wasserrechtsgenehmigungen wurde kritisiert und eine längere Dauer (Kulturdauer, 25-30 Jahre) gewünscht.

Bezüglich des Räucherns waren sich die Obst- und Weinbauern weitgehend einig – diese Methode wurde als gesundheitsbelastend, umweltbelastend und wenig zukunftsfähig eingestuft. Die Betriebe machten sich auch Gedanken über die Gefährdung des Straßenverkehrs. Von den Anrainern und der Bevölkerungen erfuhren die Obst- und Weinbaubetriebe größtenteils Verständnis, vereinzelt wurden Beschwerden angemerkt.

6 FROSTABWEHRMAßNAHMEN

Bei der Kombination eines sehr frühen Vegetationsstartes und späten Kälteeinbrüchen drohen Spätfrostschäden. Um diese abzuwenden, gibt es grundsätzlich zwei Ansätze: vorbeugende Maßnahmen (wie Standortwahl, Beeinflussung der Pflanzenphysiologie) oder direkte Abwehrmaßnahmen (wie Räuchern, Bewinden, Frostbewässerung,...). Ergänzend können Maßnahmen gesetzt werden, die die Widerstandsfähigkeit oder Regenerationsfähigkeit der Pflanzen erhöhen.

Vorbeugende Maßnahmen können das Risiko von Spätfrost-Schäden reduzieren, je nach Bedingung (Zeitpunkt / Stärke des Spätfrostes) genügen diese Vermeidungsstrategien allerdings nicht, und es sind dennoch Frostabwehrmaßnahmen erforderlich. In den Kapiteln 6.1 und 6.2 sollen daher sowohl flankierende und vorbeugende als auch direkte Bekämpfungsmaßnahmen erläutert werden. In Kapitel 6.3 werden neue Methoden und Technologien vorgestellt, die (für die Steiermark) noch nicht als praxistauglich gelten können.

Viele der Maßnahmen werden in anderen Anbaugebieten Europas oder der Welt eingesetzt. Diese Erfahrungen können herangezogen werden, um sinnvolle Strategien für die Steiermark zu erarbeiten. Ein direktes Umlegen der Maßnahmen ist jedoch nicht möglich, da die Steiermark mit ihrer Topographie und ihren Klimabedingungen eigene Voraussetzungen hat, die die Wirksamkeit und Anwendbarkeit der Methoden beeinflussen.

Ein Aspekt, der unbedingt von jedem landwirtschaftlichen Betrieb beachtet werden sollte, ist die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit von Frostabwehrmaßnahmen: Kulturen, die einen hohen Deckungsbeitrag aufweisen oder im Betrieb nicht zu ersetzen sind (z.B. Lagenweine), können mit teureren Methoden geschützt werden als Kulturen mit geringerem Deckungsbeitrag (z.B. Beerenobst für Industrienutzung). Je nach Situation kann zur Risikoabsicherung auch eine Versicherung in Kombination mit dem Verzicht auf Abwehrmaßnahmen die sinnvollste Lösung sein.

Maßnahmen nach Kulturen

Die folgende Liste gibt eine Übersicht über die am besten geeigneten Maßnahmen für die unterschiedlichen Kulturen.

Gewisse Maßnahmen sind zwar grundsätzlich als funktionierend einzuschätzen, werden aber unter steirischen Bedingungen bei der betreffenden Kultur kaum zum Einsatz kommen (können). In der untenstehenden Liste wurden diese Überlegungen neben den technischen Gesichtspunkten auch berücksichtigt.

Maßnahmen, deren Schutzwirkung noch wenig erprobt oder für die Steiermark fraglich ist, wurden grün hinterlegt.

Methoden, die für die jeweilige Kultur zwar möglich, aber nur eingeschränkt passend sind, wurden in Klammern gesetzt.

Potenzielle Zukunftsmethoden, die noch nicht praxistauglich sind, wurden grau hinterlegt.

Bereits die untenstehende Liste lässt erkennen, wie viele Fragen zur Frostabwehr noch offen sind. Bei bekannten, wirkungsvollen Methoden geht es um die Anpassung an steirische Voraussetzungen, die praxistaugliche Umsetzung und die Optimierung. Bei wenig erprobten und neuen Methoden geht es

um die Überprüfung der Wirksamkeit und Durchführung in der Praxis. Für einige Maßnahmen sind rechtliche Rahmenbedingungen zu klären und nach Möglichkeit zu verbessern.

Übergeordnet steht die Frage nach Risikoabschätzung und betriebswirtschaftlich sinnvollen, angepassten Konzepten im Raum.

Kernobst

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl
- Blüte verzögern
- Bodenbearbeitung / Düngung optimieren
- Bodenwärme nutzen / Begrünungspflege optimieren
- Befruchtung verbessern
- Frostberegnung
- Bodenwassergehalt erhöhen
- Kombination von Bodenwassergehalt erhöhen und Frostberegnung
- Bewindung
- Helikopter
- (Frostkerzen)
- Heizen

Steinobst

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl
- Blüte verzögern
- Bodenbearbeitung / Düngung optimieren
- Bodenwärme nutzen / Begrünungspflege optimieren
- Befruchtung verbessern
- (Frostberegnung) / (Unterkronenberegnung)
- Bodenwassergehalt erhöhen
- Bewindung
- Helikopter
- Frostkerzen
- Heizen, ggf. in Kombination mit geschlossenen Systemen

Erdbeeren

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl
- Bodenbearbeitung / Düngung optimieren
- Frostberegnung
- Abdecken

- Kombination von Abdecken und Frostberegnung
- Bodenwärme nutzen / Strohabdeckung optimieren
- Schaumisolierung

Strauchbeeren (Ribisel/Aronia/Heidelbeeren) – Frischmarkt/Direktvermarktung

für Industrienutzung haben Frostabwehrmaßnahmen aufgrund des geringen Deckungsbeitrags keine Relevanz

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl
- Bodenbearbeitung / Düngung optimieren
- Bodenwärme nutzen / Begrünungspflege optimieren
- (Heizen)
- (Bewindung)
- (Bodenwassergehalt erhöhen)
- (Frostberegnung)
- Geschlossene Systeme, ggf. Kombination mit Heizen

Holunder

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl
- Bodenbearbeitung / Düngung optimieren

Schalenfrüchte

Aufgrund der Baumhöhen sind Frostabwehrmaßnahmen kaum erfolgreich; aufgrund der Rahmenbedingungen wirtschaftlich nicht interessant

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl

Weinreben

- Kleinklima verbessern
- Standortwahl
- Sortenwahl
- Bodenbearbeitung / Düngung optimieren
- Bodenwärme nutzen / Begrünungspflege optimieren
- Rebschnitt
- Frostrute
- Double pruning
- Minimalschnitt
- Bewindung

- Helikopter
- Frostkerzen
- Heizen
- (Frostberegnung)
- Ölapplikationen zur Austriebsverzögerung
- Applikation von Pflanzenhormonen zur Austriebsverzögerung
- Heizdraht

6.1 FLANKIERENDE UND VORBEUGENDE MAßNAHMEN (SABRINA DREISIEBNER-LANZ)

6.1.1 Standortwahl

Die Standortwahl und -beurteilung spielt bei Neuerschließungen von Flächen oder Veränderung der Nutzung eine wichtige Rolle.

Neben anderen Standortfaktoren wie z.B. Boden, Hangneigung oder Ausrichtung können Flächen auf ihr Frostrisiko hin bewertet werden. Die Beurteilung sollte dabei sowohl das Spätfrost- als auch das Winterfrostrisiko umfassen. Je nach Kultur sind beide Frostarten relevant, einige Kulturen sind besonders winterfrosthart bzw. -empfindlich.

Für die Beurteilung der Frostgefahr spielen die Seehöhe, Ausrichtung und Geländeformation eine wichtige Rolle^{4,5}.

Für das Klima der steirischen Obst- und Weinbauregionen sind folgende Merkmale typisch^{6,7,8}:

- Das sogenannte Riedelklima: Die Klimagunst nimmt mit zunehmender Höhenlage zu, Riedel- und Kuppenlagen weisen eine deutlich geringere Frosthäufigkeit auf als die Talsohlen
- Die Hänge und oberen Lagen sind klimatisch begünstigt
- Unterhalb der Riedel- und Kuppenlagen bilden sich Kälteseen: Tiefe Lagen sind daher frostgefährdet, ganz besonders, wenn die Luft aufgrund der geringen Höhenlage/Stauungsfaktoren nicht abfließen kann.
- Es können kleinklimatische Effekte wie kleine Kälteseen neben Hecken, Waldrändern, Bahn- oder Straßendämmen und in Mulden auftreten.
- Es kommt häufig zu Inversionslagen: Die Temperaturen in höheren Lagen sind höher als am Talboden
- In den Bereichen oberhalb der Inversion sinkt mit zunehmender Höhenlage die Temperatur, tiefe Wintertemperaturen sind somit wahrscheinlicher und häufiger. Für Kulturen, die sensibel auf Winterfrost reagieren, liegen solche Flächen zu hoch. Allerdings ist auf diesen Flächen ein späterer Vegetationsstart zu erwarten, und damit ist eine mögliche Eignung für gut winterharte, spätfrostanfällige Kulturen gegeben
- Warme Lagen erhöhen tendenziell das Spätfrostrisiko, da sie den Austrieb zusätzlich verfrühen können
- Flächen mit südlicher Ausrichtung sind die wärmsten Lagen, Flächen mit Nordeinfluss sind die kühlpsten Lagen. Je steiler die Flächen sind, umso ausgeprägter ist der Unterschied der Sonneneinstrahlung

Durchführung

Die Entscheidung über die Lageneignung ist – mit Ausnahme des Weinbaus – den landwirtschaftlichen Betrieben überlassen, ggf. kann diesbezüglich Beratung in Anspruch genommen werden.

Für den Weinbau ist im Rahmen des Landesweinbaugesetzes⁹ die Lageneignung in §7 (3) folgendermaßen erwähnt: „Als für den Weinbau nicht geeignete Lagen gelten insbesondere Nord-, Nordwest- und Nordosthänge sowie Standorte, die frostgefährdet sind oder wegen ihrer Höhenlage nicht den Zielsetzungen dieses Gesetzes entsprechen.“ Ob eine Lage frostgefährdet und damit nicht weinbaufähig ist, wird bei der Vergabe von Auspflanzgenehmigungen bzw. beim Antrag auf Wiederbepflanzung durch die WeinbauberaterInnen der Landwirtschaftskammer festgestellt.

Für alle anderen Kulturen gibt es keine gesetzlichen Regelungen hinsichtlich der Standortwahl.

Fast jeder landwirtschaftliche Betrieb steht allerdings vor der Herausforderung, dass nicht nur Gunstlagen zur Verfügung stehen. Ein Ausweichen auf andere Flächen ist deshalb nur teilweise möglich, allerdings kann durch eine angepasste Sortenwahl das Risiko für Frostschäden auch bei gefährdeten Lagen verringert werden (z.B. spät austreibende / blühende Sorten auf frühe Standorte vgl. „6.1.2 Sortenwahl“).

Abgesehen von der erhöhten Spätfrostgefahr ist auf tiefen Lagen, Staulagen und Nebellagen mit einem deutlich erhöhten Krankheitsdruck durch Pilzkrankheiten zu rechnen. Dadurch ist mit einem überhöhten Aufwand bezüglich Pflanzenschutzmaßnahmen und Pflanzenschutzmittelaufwand und unter Umständen mit Einbußen bei Qualität und Erntemenge zu rechnen.

Bereits die eigenen Erfahrungen und Beobachtung können Hinweise auf die Eigenschaften der Lagen geben: Auf warmen Lagen schmilzt der Schnee am schnellsten, in „kalten Löchern“ verschwindet der Reif später etc. Unterschiedliche Austriebs- bzw. Blühzeitpunkte können über die Jahre festgehalten und ausgewertet werden.

Zudem können auf der Seite des GIS Steiermark (www.klimaatlas-steiermark.at) diverse klimatologische und meteorologische Daten in Form des Digitalen Atlas der Steiermark abgefragt werden.

In Bezug auf die unterschiedlichen Frostarten ist festzuhalten, dass die Lage bei einem Strömungsfrost weniger entscheidend ist als bei einem Strahlungsfrost. Kamm- und Kuppenlagen können sogar gefährdeter sein als tiefe Lagen¹⁰. Es ergibt sich allenfalls eine indirekte Wirkung des Standortes, da auf späteren Standorten die Vegetationsentwicklung weniger weit fortgeschritten ist.

Wirkungsprinzip

- Lageneignung bei der Wahl der Kultur und des Standortes berücksichtigen

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- (Strömungsfrost) – nur indirekt über den Austriebs-/Blühzeitpunkt

Vorteile	Nachteile
+ Langfristige Maßnahme	- Einschränkung der Flächen
+ Keine zusätzlichen Kosten	

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Verbesserte Modellierung von Kaltluftseen und Spätfrostgefährdung
- Objektivierbare Kriterien für die Lageneignung
- Anwenderfreundlicher Zugang zu kleinräumigen Einschätzungen der Wetterrisiken und Hilfestellung zur Abstimmung von Sorte und Lage

6.1.2 Sortenwahl

Um den Spätfrost zu umgehen, sollten Sorten, die spät blühen und/oder einen späten Austrieb haben, gewählt werden. Bei mehrjährigen Kulturen spielt auch die Unterlage eine Rolle, sie kann den Austriebszeitpunkt beeinflussen. Bei einjährigen Kulturen ist der Ausspflanztermin so zu wählen, dass das Frostrisiko möglichst gering gehalten wird^{11,12}.

Die Frostjahre 2016 und 2017 haben gezeigt, dass spätblühende Apfelsorten diese beiden Jahre deutlich besser überstanden haben. Im Sortenerhaltungsgarten der Versuchsstation Haidegg sind z.B. extreme Spätblüher wie Spätblühender Taffetapfel oder Eslacher Luiken positiv aufgefallen. Beim Apfel kommt es jedoch sehr darauf an, in welchem Stadium der Blüte das Frostereignis auftritt¹³.

Die Sorte, die 2016 und 2017 bei den Birnen aufgefallen ist, war Pear 1, bei den Kirschen war es die Sorte Stardust, bei den Pfirsichen die Verarbeitungssorte Babygold 6¹⁴.

Hinsichtlich des Weinbaus sind die früh treibenden Sorten Muskateller, Morillon, Blauer Wildbacher, Zweigelt und Muscaris als besonders spätfrostgefährdet einzustufen. Sorten wie Sauvignon blanc oder Welschriesling sind aufgrund des späteren Austriebs weniger anfällig. Zusätzlich ist zu beachten, dass Rebsorten mit einer guten Winterfrosthärte im Allgemeinen früh austreiben und dadurch anfällig für Spätfroste sind¹⁵.

Wirkungsprinzip

- Austriebsverzögerung durch Sorten-/Unterlagenwahl

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile
+ Langfristige Maßnahme	- Sortenwahl eingeschränkt
+ Keine zusätzlichen Kosten	

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Einfluss der Unterlagen auf den Austriebs- oder Blühzeitpunkt
- Austriebsverzögernde Unterlagen

6.1.3 Kleinklima verbessern

Kleinklimatische Effekte können sowohl bei Strahlungs- als auch bei Strömungsfrostereignissen eine Rolle spielen. Im Falle von Strahlungsfrost kann sich die absinkende Kaltluft verstärkt an Landschaftselementen wie Waldränder, Hecken oder Baumreihen stauen. Bei einem Strömungsfrost treten kalte Luftströmungen auf, die je nach Topographie gewisse Flächen besonders treffen können.

Abhängig von der Lage der Fläche können zur Reduzierung der Frostgefahr gezielte Maßnahmen wie die Verbesserung des Kaltluftabflusses oder das Umlenken von Kaltluftströmungen gesetzt werden. Wenn die Maßnahmen nicht nur auf den Eigenflächen durchführbar sind, ist eine Absprache und eine Verständigung mit angrenzenden Grundbesitzern notwendig, was unter Umständen die Umsetzung verkompliziert oder verunmöglicht.

Durchführung bei Strahlungsfrost

Bereits beim Anlegen der Kultur kann durch den Zeilenverlauf der Abfluss von Kaltluft begünstigt werden. Zudem sollte am unteren Ende einer Anlage dafür gesorgt werden, dass die kalte Luft abfließen kann. Bäume, Zäune, Büsche oder Dämme, die dem Abfluss in die Quere kommen, sollten wenn möglich entfernt werden¹⁶. Wenn ein Entfernen nicht möglich ist, können größere Lücken geschlagen werden, damit die Kaltluft abfließen kann¹⁷.

Durchführung bei Strömungsfrost

Oberhalb von gefährdeten Lagen können hohe Baum- oder Strauchreihen als „Windbrecher“ angelegt und damit die kalte Luft umgelenkt werden^{18,19,20}. Natürlich dauert es (je nach Wuchsgeschwindigkeit der gewählten Pflanzen) einige Jahre, bis eine Wirkung zu erwarten ist. Die Verwendung größerer Bäume oder Sträucher ist möglich, allerdings auch kostspielig. Alternativ kann die Kaltluftströmung z.B. auch durch einen Zaun umgeleitet oder abgeschirmt werden.

Bei der Umsetzung solcher Maßnahmen sind die entsprechenden gesetzlichen Rahmenbedingungen (Forstrecht, Naturschutz, Cross Compliance Richtlinien bezüglich Landschaftselementen) zu berücksichtigen. Ein Entfernen von Hecken oder anderen Landschaftselementen ist vorgängig mit dem Naturschutz abzuklären. Zudem werden neu gepflanzte Bäume, Sträucher und Hecken unter Umständen als Landschaftselemente in den Mehrfachantrag aufgenommen und können damit später nicht ohne weiteres entfernt werden.

Ein weiterer Aspekt von Bäumen, Hecken und Sträuchern ist der Einfluss auf die phytosanitäre Situation der Kulturpflanzen. So macht es einerseits z.B. wenig Sinn, für solche Pflanzungen Wirtspflanzen oder Zwischenwirte von Schädlingen oder Krankheiten auszuwählen (z.B. Wirtspflanzen der Kirschesigfliege). Andererseits sind Bäume, Hecken und Sträucher aus ökologischer Sicht als sehr positiv einzustufen. Sie bieten Lebens- und Schutzraum für Nützlinge, Kleinsäuger und Vögel. Je nach Platzierung und verwendeten Pflanzen oder Materialien ist der Effekt hinsichtlich des Landschaftsbildes ebenfalls positiv zu bewerten – eine optisch ansprechende Gliederung der Landschaft und Kleinräumigkeit kann entstehen.

Wirkungsprinzip

- Kaltluftabfluss verbessern
- Kalte Luftströmungen umlenken

Vorteile	Nachteile
+ Dauerhafte, langfristige Maßnahme	- Bei Pflanzungen langer Zeithorizont
+ Ökologischer Nutzen	- Gesetzliche Rahmenbedingungen können erschwerend wirken
+ Optische Aufwertung des Landschaftsbildes möglich	- Förderrelevante Auswirkungen

6.1.4 Bodenbearbeitung und Düngung

Ein frisch gelockerter Boden kann weniger Wärme speichern, die Wärmeleitfähigkeit ist geringer, und es kann dadurch auch weniger Wärme an die Pflanze abgestrahlt werden. Mit Bodenbearbeitung und Düngung wird zudem auch der Versorgungszustand der Pflanzen beeinflusst. Grundsätzlich ist eine ausgeglichene versorgte Pflanze widerstandsfähiger gegen biotische oder abiotische Stressfaktoren, wobei die einzelnen Nährelemente unterschiedliche Effekte auf die Frosthärte der Pflanzen haben²¹. Zudem unterscheiden sich die verschiedenen Kulturen in ihren Ansprüchen und Reaktionen.

Durchführung

Der Boden sollte kurz vor oder während kritischer Phasen (Spätfrostgefahr / kritische Pflanzenstadien) nicht bearbeitet werden²². Allfällige Bodenbearbeitungsmaßnahmen sind rund 10-14 Tage vorher vorzunehmen, damit sich der Boden bis zum Frostereignis wieder gesetzt hat²³. Diese Zeitspanne ist angesichts der Prognostizierbarkeit von Spätfrösten recht lang, eine Bodenbearbeitung kann demnach nur vorausschauend erfolgen und sollte möglichst zeitlich ideal eingeplant werden.

In Bezug auf die Düngung ist der unterschiedliche Einfluss der verschiedenen Nährelemente auf die Frosthärte zu berücksichtigen. Den größten Einfluss haben dabei die Hauptnährelemente Kalium und Stickstoff. Eine unzureichende Kaliumversorgung führt zu einer verminderten Frosthärte, ein Übermaß an Stickstoff reduziert die Frostfestigkeit. Stickstoffgaben oder die Mobilisierung von Stickstoff im Spätsommer oder frühen Herbst sollten daher vermieden werden, um den Abschluss des vegetativen Wachstums, die Holzausreifung und den Übergang in die Winterruhe nicht zu verzögern. Einer ausreichenden Phosphor-Versorgung kommt bei der Erholung nach einem Frostereignis eine größere Bedeutung zu, da Phosphor für die Zellteilung und den Energiestoffwechsel der Zellen wichtig ist^{24,25}. Generell führt eine Unterversorgung von Nährelementen (insbesondere Stickstoff) zu einem geringeren Wachstum, einer geringeren Blattmasse, einer verringerten Photosyntheseleistung und in weiterer Folge zu einer Reduktion von Reservestoffen²⁶.

Wirkungsprinzip

- Frisch bearbeitete Böden können weniger Wärme speichern und abgeben
- Optimale Versorgung mit Nährelementen erhöht Frostfestigkeit
- Stickstoff im Übermaß oder zum falschen Zeitpunkt erhöht die Frostempfindlichkeit der Pflanzen

6.1.5 Bodenwärme nutzen

Der Boden wirkt als Wärmepuffer und strahlt in Frostnächten die Wärme auch an die Pflanzen ab. Jede Form der Bodenabdeckung vermindert jedoch diese Wärmeabgabe, weil sie isolierend und damit als Wärmestrombarriere wirkt^{27,28}.

Für die Wärmeabgabe am idealsten wäre ein offener Boden, bei begrünten Böden sollten die Begrünungen möglichst kurzgehalten werden. Die gemessenen Temperaturunterschiede (0,9°C auf 1,5 m Höhe bzw. 1-3°C bei der Bodentemperatur) lassen keinen großen Unterschied in der Lufttemperatur erwarten^{29,30,31}. Der Zustand des Baumstreifens oder Unterstockbereichs hat auch einen Einfluss, und diese Bereiche sollten daher möglichst wenig Bewuchs oder Abdeckung/Schnittholz aufweisen³².

Durchführung

Ein Offenhalten oder Freispritzen der Böden ist unter steirischen Bedingungen – besonders bei Dauerkulturen und Hang- und Steillagen – wenig zielführend bzw. nicht möglich. Zudem sind die Erosionsschutzvorschriften im ÖPUL-Programm zu beachten. Mulchen bleibt daher die einzige Möglichkeit. Wird unmittelbar vor dem Frostereignis gemulcht, weist auch das gemulchte Material durch die vielen Lufteinschlüsse eine isolierende Wirkung auf – besser wäre es, deutlich vorher zu mulchen³³. Ein Mulchvorgang vor dem Winter ist grundsätzlich empfehlenswert, da dies den Vorteil hat, dass die Begrünungen über den Winter bereits kurz sind und damit weniger auswintern oder absticken. Je nach Begrünung und Vegetationsverlauf ist die Begrünung bis zu einem Spätfrostereignis jedoch wieder deutlich gewachsen. Auch wenn hinsichtlich Frost die Begrünung möglichst kurz sein sollte, sind bei der Mulchhöhe auch die Ansprüche der Begrünungspflanzen zu berücksichtigen: Eine zu tiefe Schnitthöhe kann die Begrünungsnarbe schädigen und zu einem lückigen, verunkrauteten Bestand führen.

In Summe kann die Empfehlung, bei Spätfrostgefahr keine hohen Begrünungen in den Anlagen stehen zu lassen, gegeben werden. Nur im Zusammenhang mit einer Unterkronenberegnung ist eine andere Vorgehensweise sinnvoll (vgl. Kapitel 6.2.2).

In Kulturen oder Anbausystemen, die offene Böden im Frühjahr ermöglichen oder sogar erfordern, sollte die Bodenbearbeitung rund 10-14 Tage vorher erfolgen, damit sich der Boden bis zum Frostereignis wieder gesetzt hat. In einem gerade bearbeiteten Boden wird durch die Lockerung die Wärmeleitfähigkeit verschlechtert und daher der positive Effekt vermindert³⁴ (vgl. Kapitel 6.1.3).

Für Erdbeeren gilt, dass die Strohabdeckung ebenso eine isolierende Wirkung wie eine Begrünung hat und daher mehr Blütenfrostschäden in Anlagen mit Strohabdeckung auftreten als in Anlagen ohne Stroh. Es ist deshalb wichtig, den Zeitpunkt der Stroheinbringung zu optimieren und die Strohausbringung möglichst nach der Spätfrostgefahr vorzunehmen³⁵.

Um die Wärmestrahlung eines offenen Bodens zu maximieren, kann untertags eine durchsichtige Plastikfolie ausgelegt werden, die in der Nacht wieder entfernt wird³⁶. Davor kann der Boden zusätzlich bewässert werden, um den Effekt zu verstärken.

Wirkungsprinzip

- Wärmeabstrahlung des Bodens erhöhen durch Mulchen oder Bodenbearbeitung zum Abbau von Wärmestrombarrieren

Vorteile	Nachteile
+ Kostengünstig + Einfache Maßnahme	- Befahrbarkeit bzw. Bearbeitbarkeit der Böden ist Voraussetzung - Offenhalten in Steil- und Hanglagen nicht sinnvoll (Erosionsschutz)

6.1.6 Befruchtung verbessern (Leonhard Steinbauer)

Die verschiedenen Obstarten weisen eine unterschiedliche Befruchtungsbiologie auf. Bei selbstfruchtbaren Sorten ist der sorteneigene Pollen befruchtungsfähig und damit benötigen diese Obstarten keinen Befruchtungspartner, um ausreichende Erträge zu bringen. Arten oder Sorten, die nur teilweise selbstfruchtbar sind, sollten wie selbstunfruchtbare Kulturen behandelt werden. Die Selbstunfruchtbarkeit betrifft zahlreiche Obstarten: Apfel-, Birnen- und Süßkirschensorten sind selbstunfruchtbar. Ein geeigneter Befruchtungspartner ist daher Bedingung für eine erfolgreiche Befruchtung und regelmäßige Erträge. Viele neue Sorten von grundsätzlich selbstfruchtbaren Sorten sind auch selbstunfruchtbar (z.B. Marillen- und Zwetschkensorten). Damit die Befruchtungspartner geeignet sind, sollten sie kurz vor der Hauptsorte blühen, nicht alternieren und einen vitalen Pollen besitzen. Die Befruchtungsverhältnisse sollten bei der Planung einer Obstanlage berücksichtigt werden³⁷.

Durch verschiedene Maßnahmen kann bei nicht selbstbefruchtenden oder nur teilweise selbstbefruchtenden Obstarten und Sorten die Befruchtung verbessert werden^{38,39,40}:

- Mehr Befruchter-Bäume
- Mehr Befruchter-Sorten
- Mehr Arten von Bestäubungsinsekten, z.B. Gehörnte Mauerbiene (*Osmia cornuta*)
- Gleichmäßige Verteilung der Bienenvölker innerhalb der Anlagen
- Windschutz bei Anlagen mit übermäßigem Windeinfluss

Speziell für Steinobst ist dieser Umstand wichtig, da es nur die Zustände „befruchtet“ oder „nicht befruchtet“ gibt. Besonders für die Kirschen sind alternative Bestäuber wie die Mauerbiene förderlich, da die Bienen zum Zeitpunkt der Kirschblüte noch nicht ausreichend fliegen⁴¹. In Bezug auf Spätfröste bringt die verbesserte Befruchtung einen höheren Fruchtansatz, und es kann dadurch ein höherer Ausfall kompensiert werden⁴².

Wirkungsprinzip

- Erhöhter Fruchtansatz durch bessere Befruchtung

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile
+ Einfache Methode + Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar	- Einhalten der Wartezeiten von Pflanzenschutzmaßnahmen kritisch aufgrund verschiedener Sorten

6.1.7 Rebschnitt

Mit dem Rebschnitt wird auf die Physiologie der Rebe Einfluss genommen, und es werden Faktoren wie Frosthärte und Reservestoffe beeinflusst.

Zeitpunkt des Rebschnittes

Solange der Blattfall nicht abgeschlossen ist, findet eine Rückverlagerung von Reservestoffen statt und dadurch erhöht sich die Widerstandsfähigkeit der Rebe gegen Winterfröste⁴³. Unabhängig von allfälligen Frostschäden verbessert sich mit einem vollen Reservestoff-Speicher der Austrieb im nächsten Frühjahr, denn der Austrieb der Rebe erfolgt ausschließlich aus den Reservestoffen, es findet keine Stickstoffaufnahme beim Austrieb statt. Ein Vorteil des Schnittes nach mehreren Winterfrostergebnissen ist, dass ungeeignetes (weil nicht frosthartes) Zielholz danach besser erkennbar ist. Generell wird durch einen späten Schnitt der Knospenaufbruch leicht verzögert⁴⁴. Einige Praxiserfahrungen der letzten Jahre haben den deutlichen Vorteil (extrem) spät geschnittener Reben in Bezug auf Spätfrost bestätigt, wobei sowohl von einer geringeren Schädigung als auch von einer besseren Regeneration nach dem Frost berichtet wurde. Ein später Schnittzeitpunkt ist daher auf alle Fälle zu bevorzugen; allerdings muss dabei die gesamtbetriebliche Situation berücksichtigt werden.

Im Extremfall wird mit dem Winterschnitt solange zugewartet, bis die Rebe mit dem Austrieb beginnt. Die Knospen an den Tribspitzen treiben zuerst aus und unterdrücken die Knospen, die näher am Stamm sind (basipetale Knospen)⁴⁵.

Wahl des Zielholzes

Nicht bei jedem Rebstock bietet sich beim Rebschnitt eine Auswahl an möglichem Zielholz an. Wenn man die Wahl hat, ist natürlich gesundes, gut ausgereiftes Rebholz zu bevorzugen. Die Triebstärke ist insofern ein wichtiges Kriterium, als sowohl zu dünnes als auch zu dickes Holz eine schlechtere Holzreife und damit geringere Frosthärte aufweist. Anhand des Markanteils kann die Qualität des Rebholzes beurteilt werden (vgl. Abbildung 21). Dass bei schwachen Stöcken die stärkeren Triebe verwendet werden, versteht sich von selbst; bei starken Stöcken ist dies vielleicht nicht so eindeutig. Bei stark wüchsigen Stöcken macht es aus mehreren Gründen Sinn, die dünneren Triebe für den Rebschnitt zu

verwenden: Sie weisen eine bessere Frosthärte auf als die mastigen Triebe, haben eine kürzere Internodienlänge (Abstand zwischen den Augen) und sind leichter zu biegen. Über die Augenanzahl sollte das Anschnittniveau dem Wuchs der Rebe entsprechend hoch genug gewählt werden.

Biegen

In den bei uns am weitest verbreiteten Drahtrahmen-Erziehungsformen werden die Fruchtruten der Rebe gebogen. Dies dient natürlich dazu, den Wuchs der Rebe in den Drahtrahmen einzufügen; zudem handelt es sich dabei um eine Maßnahme, die der apikalen Dominanz der Rebe entgegenwirken soll. Nicht angebundene Ruten treiben – aufgrund der apikalen Dominanz – charakteristisch zuerst an den obersten Augen aus, und die unteren Augen werden in ihrem Austrieb verzögert. Auch diese Form der Austriebsverzögerung kann zur Frostvorbeugung genutzt werden. Der große Nachteil eines späten Biegezeitpunkts ist einerseits die Gefahr von Triebverlusten und andererseits der erhöhte Arbeitszeitbedarf – aufgrund der Empfindlichkeit der ausgetriebenen Augen muss langsamer und vorsichtiger gearbeitet werden.



Abbildung 21: Rebholz – von erfroren über zu hohem Markanteil bis zu ideal¹⁶

Erziehungsformen

Hohe Erziehungsformen sind aufgrund des späteren Austriebs weniger frostanfällig, und im Falle eines Spätfrostereignisses kann (aufgrund der Schichtung der Temperatur) die Höhe der Triebe ein Vorteil sein. Hohe Erziehungsformen weisen jedoch zahlreiche Nachteile auf wie z.B. erschwerte Applikation von Pflanzenschutzmitteln, Windbruchgefahr, anstrengende Handarbeiten, Gefahr von Glockenbildung und erhöhter Krankheitsdruck⁴⁷. Daher wird für Neupflanzungen im Allgemeinen trotzdem die „normale“ Drahtrahmenerziehung empfehlenswert sein.

Für gewisse Standorte und Produktionsziele kann der Minimalschnitt eine mögliche Alternative sein (vgl. Kapitel 6.1.10).

Schlussfolgerungen für den Rebschnitt

- Spezielle Schnittmaßnahmen können aus arbeitswirtschaftlichen Gründen nur auf Teilflächen durchgeführt werden
- Für besonders gefährdete Flächen (früh austreibende Sorte / frostgefährdete Lage) machen Schnittmaßnahmen zur Austriebsverzögerung Sinn; der Mehraufwand ist dabei zu berücksichtigen
- Besonders starke Triebe sind kein ideales Zielholz, weil sie weniger frosthart sind
- Hohe Stickstoffversorgung und übermäßiger Ertrag sind zwei wesentliche Faktoren für eine verzögerte Holzreife und geringere Frosthärte
- Später Schnitt ist zu bevorzugen; je frostgefährdeter die Lage ist, umso mehr
- Stickstoffübersorgte Anlagen spät, aber stark anschneiden: Ein früher Schnitt mag zwar zum Bremsen sinnvoll erscheinen, hat aber eine negative Auswirkung auf die Frosthärte
- Zu wüchsige Anlagen nicht mit frühem Schnitt, sondern durch andere Maßnahmen beruhigen (Anschnittstärke, Begrünungspflege,...)
- Alternative Schnittmethoden wie double pruning sind nicht generell und nicht für alle Sorten empfehlenswert (vgl. Kapitel 6.1.9)
- Junganlagen sollten besonders spät geschnitten werden
- Hohe Erziehungsformen sind – trotz der Vorteile hinsichtlich Frost – in den meisten Fällen kaum empfehlenswert

Wirkungsprinzip

- Reservestoffhaushalt der Rebe positiv beeinflussen
- Geeignetes Zielholz verwenden
- Zusammenhang Nährstoffversorgung und Frosthärte berücksichtigen

Vorteile	Nachteile
+ Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar	- Je nach Betriebsgröße nur auf Teilflächen umsetzbar
+ Jährliche Reaktionsmöglichkeiten	- Je nach Art der Umsetzung: Zeitaufwand bei Schnitt und Biegen (stark) erhöht

6.1.8 Rebschnitt: Frostrute

Die Frostrute (oder auch „kicker canes“) ist eine traditionelle Methode der Frostvorbeugung: Es wird pro Fruchtrute ein zusätzlicher Bogen angeschnitten, der nicht gebunden wird. Je nach Erziehungssystem werden demnach 2 bzw. 4 Bögen geschnitten, und die Frostruten werden nicht gebogen. Durch die aufrechte Position der Frostruten treiben die obersten Augen bevorzugt aus, und untere Augen werden unterdrückt. Wenn die Spätfrost-Gefahr vorbei ist, können die Frostruten entweder entfernt (keine Frostschäden) oder als Zielholz verwendet, d.h. gebogen werden. Bei einem Teilausfall der Augen auf dem gebundenen Bogen kann durch die Frostrute die Augenanzahl ergänzt werden. Eine zu hohe Augenanzahl und daraus entstehende Überlastung der Reben und verdichtete Laubwand wird durch eine Korrektur der Triebanzahl beim Ausbrechen vermieden. Bei einem Totalausfall auf der gebundenen Rute kann diese entfernt und durch die Frostrute ersetzt werden. Eine gewisse Rolle kann im Falle eines Frostereignisses auch die Höhe spielen, auf der sich die ausgetriebenen Augen befinden. Grundsätzlich kann man von einem Temperaturgradienten ausgehen: Die Bodentemperatur ist tiefer als die Temperatur auf Bogenhöhe und diese ist wiederum tiefer als auf 2 m Höhe. Die bodenfernstes Augen sind dadurch zwar am weitesten ausgetrieben, sie erfahren aber auch etwas weniger niedrige Temperaturen. Gerade bei eher wüchsigen oder früh austreibenden Sorten kann es Sinn machen, mehrere überlange Frostruten zu belassen und mit dem Biegen ggf. zu warten. Werden mehrere Bögen angeschnitten und kein Bogen gebunden, ist es wichtig, die abschließenden Schnittarbeiten mit qualifizierten Arbeitskräften durchzuführen, damit die Wahl des Fruchtholzes nicht dem Zufall überlassen bleibt.

Wirkungsprinzip

- Frostrute dient als Reservebogen
- Teilweise Austriebsverzögerung

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile
+ Einfache Methode	- Reservestoffe der Rebe werden stärker beansprucht
+ Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar	- Zusätzlicher Arbeitsschritt zum Entfernen der Frostrute
	- Bei spätem Biegen ist die Gefahr von Triebverlusten groß, langsames Arbeiten ist notwendig

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Einfluss von Wuchsstärke auf die Unterdrückung der unteren Augen
- Weitere Einflussfaktoren

6.1.9 Rebschnitt: double pruning

Bei der Schnittmethode „double pruning“ (= doppelter Rebschnitt) wird die apikale Dominanz der Rebe genutzt, um eine Austriebsverzögerung zu erreichen.

Dazu wird in einem ersten Arbeitsschritt das einjährige Holz auf ca. 6-8 Augen eingekürzt. Die obersten Knospen treiben zuerst an und unterdrücken damit die unteren Augen. Durch diese Verzögerung verbleiben die unteren Augen (welche benötigt werden) in einem früheren – und damit weniger empfindlichen – Stadium und werden im Falle eines Frostereignisses weniger geschädigt. Erst wenn die Frostgefahr vorbei ist, wird auf die Zapfenlänge fertig eingekürzt⁴⁸. Versuche der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau zeigten eine Austriebsverzögerung von 20-30 Tagen. Der Unterschied blieb über die Blüte bis zur Beerenentwicklung bestehen und führte zu einem Reiferückstand. Als Nachteil zeigte sich eine sehr unterschiedliche Entwicklung der Trauben innerhalb eines Rebstockes mit den entsprechenden negativen Auswirkungen auf die Qualität des Lesegutes⁴⁹.

Diese Schnittmethode kann nur bei Zapfenschnitt (Cordon-Erziehung) durchgeführt werden. Eine Umsetzung dieser Strategie ist für gefährdete Lagen durchaus denkbar. Es sollte allerdings beachtet werden, dass sich nicht alle Sorten für Cordon-Schnitt eignen: Ein Zapfenschnitt kann ertrags- oder qualitätsmindernd wirken. Bei Sorten, die eine geringe Fruchtbarkeit der ersten Augen aufweisen (z.B. Traminer, Sämling 88) oder zu Schwarzfleckenkrankheit (z.B. Müller-Thurgau) neigen, ist mit geringem Fruchtansatz oder Augenausfällen zu rechnen. Bei Sorten, die zu Dichtbeerigkeit (z.B. Grauburgunder) oder kleineren Trauben neigen, können sehr kleine, kompakte und damit fäulnisanfällige Trauben auftreten. Großtraubige Sorten können qualitativ profitieren.

Durch den höheren Anschnitt pro Laufmeter ist generell mit einer dichten Laubwand und entsprechend höherem Krankheitsdruck zu rechnen. Ein konsequentes und fachgerechtes Ausbrechen ist daher absolute Pflicht. Ein langfristiger Zapfenschnitt ist zudem bezüglich Schnitt und Ausbrechen anspruchsvoll, wenn es nicht in kurzer Zeit zum „Geweih“ werden soll⁵⁰. Die Gefahr ist groß, dass die Zapfen zu lang angeschnitten werden und dann beim Ausbrechen die größten (und damit obersten) Triebe belassen werden.

Weiters ist zu bedenken, dass es durch den doppelten Austrieb zu einer stärkeren Beanspruchung der Reservestoffe der Rebe kommt, wodurch die Wüchsigkeit reduziert und die Rebe langfristig geschwächt werden kann⁵¹. Ein Vorteil des double pruning kann ein reduzierter Eutypa-Befall sein, welcher in Versuchen festgestellt wurde⁵².

Bei manueller Durchführung aller Arbeitsschritte ist der Arbeitsaufwand erhöht; erfolgt die erste Schnittmaßnahme jedoch maschinell (Vorschneider), ist der Arbeitsaufwand im Vergleich zu einem normalen Bogenschnitt reduziert.

Wirkungsprinzip

- Austriebsverzögerung durch zweimalige Schnittmaßnahmen

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile
+ Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar	- Reservestoffe der Rebe werden stärker beansprucht
+ Einsparung von Arbeitszeit: Biegen entfällt, Vorschnitt mechanisierbar	- Nicht für alle Sorten geeignet – Ertrags- und Qualitätseinbußen möglich
	- Nur bei Zapfenschnitt möglich

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Langfristige Folgen für den Reservestoffhaushalt der Rebe
- Sortenspezifische Reaktionen und Eignung
- Einfluss der Wuchskraft auf die austriebsverzögernde Wirkung

6.1.10 Rebschnitt: Minimalschnitt

Das Minimalschnittsystem wurde in Australien entwickelt, um eine weniger arbeitsintensive und möglichst vollständige Mechanisierung der Rebflächen zu ermöglichen. Der Arbeitszeitbedarf kann mit Minimalschnittanlagen auf 50-70 Akh/ha verringert werden. Seit den 90er Jahren werden in Deutschland Versuche mit Minimalschnitt durchgeführt und Praxisanlagen mit diesem Erziehungssystem bewirtschaftet⁵³. Das Minimalschnittsystem wird unter anderem an der Weinbauschule Krems und somit auch in Österreich erprobt. Minimalschnittsysteme sind hinsichtlich des Spätfrosts als weniger gefährdet einzuschätzen. Dies hat drei Gründe⁵⁴:

- beim Minimalschnitt ist eine hohe absolute Triebzahl vorhanden, Verluste können daher besser ausgeglichen werden
- die Triebe sind auf der gesamten Laubwandhöhe verteilt (100-180 cm), und ein Teil der Triebe ist damit nicht den bodennahen, kältesten Temperaturen ausgesetzt
- der höhere Anteil an Altholz führt zu einem größeren Reservestoffspeicher und damit besserer Frosthärte

Der Versuch der Weinbauschule Krems zeigte nach dem Spätfrostereignis 2016 im Minimalschnittsystem 35% weniger Schaden an den Haupttrieben im Vergleich zur normalen Spaliererziehung⁵⁵.

Durchführung

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Minimalschnittsystems muss der Drahtrahmen entsprechend gestaltet werden (z.B. Zeilenbreite, Stabilität). Es ist sowohl eine Neuanlage als auch eine Umstellung bestehender Anlagen möglich, wobei die Umstellung bestehender Anlagen den Vorteil hat, dass bereits ein ausgebildetes Wurzelsystem vorhanden ist. Durch das fast vollständige Weglassen des Rebschnittes und Wickeln der einjährigen Triebe um den obersten Draht entsteht eine „Rebenhecke“, die im Inneren zunehmend verkahlt. Triebe und Trauben befinden sich vorwiegend im äußeren Bereich der Hecke. Die extrem hohen Augenzahlen im Vergleich zu „normalen“ Anlagen führen zu einem reduzierten Wachstum des einzelnen Triebs und einer geringeren Durchblührate. Die Folgen sind zahlreiche locker- und kleinbeerige Trauben. Die Botrytis anfälligkeit geht dadurch zurück. Die Veränderungen in Bezug auf die Beereninhaltsstoffe können sowohl positiv als auch negativ sein, abhängig

von der Sorte und dem Produktionsziel⁵⁶. Ein erhöhter Krankheits- oder Schädlingsdruck wurde nicht festgestellt, der Aufwand hinsichtlich des Pflanzenschutzes ist nicht erhöht⁵⁷.

Eine Vollernterlese wird aufgrund der Anzahl und Verteilung der Trauben unumgänglich. In den ersten Jahren – bis die Selbstregulation der Reben greift – ist im Allgemeinen auch eine Ertragsregulierung notwendig, um die qualitativen Anforderung zu erfüllen. Diese kann händisch (Arbeitszeitbedarf erhöht sich um 40-80 Akh/ha) oder mit dem Vollernter erfolgen.

Die Weingärten müssen somit eine vollständige Mechanisierung zulassen: Es ist ein ausreichend großes Vorgewende und ein stabiler, intakter Drahtrahmen notwendig. Zudem muss die Fläche hinsichtlich Hangneigung und Befahrbarkeit bei der Lese vollernterfähig sein. Mit den Weiterentwicklungen der Lesemaschinen hat sich die Grenze für die Hangneigung bereits deutlich verschoben. Je nach Maschine ist die Bodenbelastung durch die Lesemaschinen beträchtlich.

Wirkungsprinzip

- Höhere Triebanzahl
- Höher gelegene Triebe
- Größerer Reservestoffspeicher

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile	(58,59)
+ Massive Reduktion der Arbeitszeit + Dauerhafte Maßnahme + Keine zusätzlichen Kosten + Botrytisneigung sinkt + Veränderung der Beereninhaltsstoffe (Aromastoffkonzentration)	- Vollernterlese ist Bedingung - Flächen müssen für die Mechanisierung geeignet sein (Vorgewende, Hangneigung) - Ertragsregulierung in der Umstellungsphase notwendig - Nur für gewisse Produktionsziele geeignet (Basisqualität) - Veränderung der Beereninhaltsstoffe (phenolische Substanzen)	

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Auswirkungen auf die Weinqualität bei verschiedenen Sorten
- Dauerhaftigkeit der Weingartenanlagen

6.2 BEKÄMPFUNGSMÄßNAHMEN (SABRINA DREISIEBNER-LANZ UND SIMONE ABERER)

6.2.1 Erhöhung des Bodenwassergehaltes

Im Boden gespeicherte Wärme wird abgestrahlt, unter anderem zur Pflanze. Der Wassergehalt des Bodens spielt dabei eine wesentliche Rolle: Wasser besitzt eine hohe Wärmekapazität und kann somit viel Wärme speichern. Wird vor einem Frostereignis der Wassergehalt des Bodens erhöht, kann in der Folge mehr Wärme vom Boden abgestrahlt werden^{60,61}. Ein feuchter Boden kann bis zu 30% mehr Wärme speichern⁶².

Durchführung

Die ersten 15-30 cm des Bodens sollten im Bereich der Feldkapazität einen hohen Wassergehalt aufweisen⁶³. Eine tiefer reichende Bewässerung ist nicht notwendig, da der Hauptanteil des Wärmeaustausches in den obersten 30 cm passiert. Dies erfordert eine gründliche Bodenbewässerung von ein bis drei Tagen vor einem bevorstehenden Frostereignis⁶⁴. Für eine Bodenbewässerung können im Obstbau Unterkronensprinkler verwendet werden; eine Tröpfchenbewässerung reicht für eine ausreichende Bodenbewässerung nicht aus.

Wichtig ist, dass die Pflanzen bis zum Frostereignis abtrocknen können, damit keine zusätzliche Verdunstungskühlung eintritt; dies würde die Frostgefahr verstärken. Zudem ist der Wärmepuffer im Boden nur dann zielführend, wenn die Wärme auch abgegeben werden kann. Darüber hinaus sollte die Begrünung in den Anlagen möglichst kurz sein und der Baumstreifen/Unterstockbereich frei von Bewuchs oder Schnittholz sein, denn der Bewuchs isoliert und hemmt damit die Wärmeabgabe. Die Strohabdeckung bei Erdbeeren hat die gleiche isolierende Wirkung⁶⁵.

Für einige Kulturen auf ebenen Flächen kann nicht nur eine Bewässerung, sondern sogar eine Überflutung bzw. Furchenbewässerung zur Frostbekämpfung durchgeführt werden. Das Wasser setzt beim Abkühlen Wärme frei. Die beste Wirkung wird am ersten Tag erzielt; wenn der Boden gesättigt ist, lässt die Wirkung nach⁶⁶. Für die Steiermark kommt diese Methode aufgrund der wenigen flachen Flächen kaum infrage.

Wirkungsprinzip

- Durch die Wassersättigung des Bodens wird die Wärmeabstrahlung des Bodens erhöht

Wirkung bei

- Strahlungsfrost – bei starken Minustemperaturen nur geringe Wirkung

Vorteile	Nachteile
+ Weniger Wasserbedarf als bei Frostberegnung	- Installationskosten
+ Einfachere, günstigere Bewässerungssysteme	- Begrenzte Wirkung
+ Kann im Sommer zur Bewässerung genutzt werden	- Kann bei häufiger Anwendung den Boden auswaschen
+ Kombination mit Frostberegnung erhöht Wirkung der Frostberegnung	

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Wasserbereitstellung
- Wasserverfügbarkeit
- Ideale Kombination mit der Frostberegnung

6.2.2 Frostberegnung (Leonhard Steinbauer)

Durch das Gefrieren des Wassers werden 93 Wattstunden je Kilogramm an Energie frei. Mit derselben Wärmemenge ist es auch möglich, ein Kilogramm Wasser um 80°C zu erwärmen. Für die Wärmemenge, die in einer Frostnacht je Hektar unter optimalen Bedingungen durch Frostberegnung gewonnen werden kann, müsste man etwa 3.000 Liter Heizöl verbrennen.

Durchführung

Wichtig ist eine professionelle Planung der Anlage. Die Leitungssysteme sollten in der Erde verlegt und die Anfangs-, Verteilungs- und Endpunkte mit Beton fixiert werden. Die gleichmäßige Druckverteilung in der Anlage wird durch Verjüngung des Querschnittes in den Leitungen erreicht. An den tiefsten Punkten der Anlage sind Entwässerungsmöglichkeiten einzurichten. Die Regner sollten im Dreiecksverband mit etwa 15 Metern Abstand (maximal 18 Meter) angeordnet sein. Wichtig bei den Regnern selbst sind eine glatte Oberfläche und eine hohe Schlagzahl je Umdrehung, damit sich an den Regnern kein Eis bilden kann.

Wenn die Anlage auch für Pflanzenschutzmaßnahmen genutzt werden soll, sind die Rohrleitungen in Form eines Doppel- oder Mehrfach-H-Systems auszuführen. Damit ist die Länge der Leitungen zu den einzelnen Regnern immer gleich und sichergestellt, dass beigefügte Pflanzenschutzmittel gleichmäßig ausgebracht werden. Für die Schorfbekämpfung bei Biobetrieben ist das eine interessante Möglichkeit.

Die richtige Steuerung der Frostschtzbergnung ist entscheidend für den Erfolg. Es ist daher wichtig, über eine exakte Temperaturmessung zu verfügen und die Windgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Bei zunehmendem Wind steigt auch die Verdunstungskälte an der Pflanzenoberfläche, und es kann sogar zu einem gegenteiligen Effekt kommen. Eine Frostbergnungsanlage darf daher niemals bei Windfrösten in Betrieb genommen werden. Ab einer Windgeschwindigkeit von 3 Metern pro Sekunde werden in Südtirol keine Frostbergnungsmaßnahmen mehr empfohlen. Die Windmessung selbst kann eine Schwierigkeit darstellen, weil geeignete Hilfsmittel in der Praxis fehlen⁶⁷. Der Einschaltzeit-

punkt wird in der Praxis oft unter Zuhilfenahme eines „Feuchttthermometers“, das im frostgefährdeten Teil der Anlage in 70 Zentimeter Höhe montiert sein soll, festgelegt. Abhängig von der Luftfeuchtigkeit kann es notwendig sein, die Frostberegnung schon bei Temperaturen weit über 0 °C in Betrieb zu nehmen. Die Beregnung sollte gestartet werden, bevor die kritische Pflanzentemperatur erreicht wird und ein zu spätes Einschalten sollte in jedem Fall vermieden werden.

Die entscheidende Problematik der Frostberegnung ist der hohe Wasserbedarf. Um einen verlässlichen Frostschutz zu gewährleisten, muss eine kontinuierliche Benetzung gegeben sein. Die erforderliche Wassermenge ist dabei von der Frostintensität abhängig – je kälter es ist, umso mehr Wasser ist einzusetzen⁶⁸. Es sind Wassermengen von mindestens 3-4 mm/h notwendig⁶⁹, und daraus ergibt sich ein sehr hoher Wasserbedarf: Wenn beispielsweise von 10:00 Uhr abends bis 06:00 Uhr frühmorgens mit 4 Millimetern Niederschlag je Stunde beregnet wird, werden 320.000 Liter Wasser je Hektar ausgebracht.

Die Bereitstellung dieser großen Wassermengen ist eine Herausforderung, insbesondere wenn mehrere Frostnächte abgedeckt werden müssen. Um Wasser einzusparen, können Mikrosprinkler zum Einsatz kommen, Nachteile fein sprühender Regner sind jedoch die erhöhte Verstopfungs- und Vereisungsgefahr, die Windanfälligkeit sowie eine unzureichende Verteilung und damit ungenügende Wirkung⁷⁰. Ein weiterer Aspekt, der zu berücksichtigen ist, ist die Qualität des verwendeten Beregnungswassers. Für die Frostberegnung von Obstanlagen sind insbesondere die Gehalte an Salz und Eisen relevant. Eisenhaltiges Wasser kann zu Fruchtoberostungen oder Blattnekrosen führen. Während der berostungsempfindlichen Phase (ab Vollblüte) sollte daher der Eisengehalt nicht über 2 mg/l betragen, bis zur Blüte werden bis zu 4 mg/l toleriert. Salzhaltiges Wasser kann zusätzlich zu den Frucht- oder Blattschäden auch zu einer Versalzung des Bodens führen. Verunreinigungen mit Mikroorganismen sind hinsichtlich Produktsicherheit ein wesentlicher Faktor, allerdings ist die Frostberegnung aufgrund des Abstandes zur Ernte bei den meisten Kulturen weniger kritisch als die Bewässerung zur Versorgungsoptimierung⁷¹.

Große Wassermengen haben negative Auswirkungen auf den Boden, insbesondere wenn mehrere Nächte beregnet werden muss. Es können Sauerstoffmangel, Verschlämmen der Böden oder Probleme bei der Befahrbarkeit auftreten.

Für den Apfelanbau ist die Frostberegnung sehr gut geeignet, bei anderen Kulturen ergeben sich jedoch spezifische Probleme. Für Steinobst und Birnen sind dies einerseits Infektionen mit Krankheiten (Monilia, Blüten und Jungfrüchte/Pseudomonasinfektionen, Früchte und Blätter) und physikalische Schäden wie Abbrechen von Ästen aufgrund der Eislast und Absterben von Bäumen als Folge der Staunässe⁷². Zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen vor und nach der Frostberegnung sind zur Reduktion des Krankheitsdruckes daher eine Notwendigkeit⁷³. Auch bei Erdbeeren ergeben sich Nachteile durch die Vernässung der Anlage: Förderung von Wurzelfäule und Staunässe. Durch Drainage und Dammkultur kann das Abführen des Wassers verbessert werden; die Kombination mit einer Vliesabdeckung ist eine sinnvolle Variante⁷⁴.

Als Alternative gibt es die Möglichkeit der Unterkronenberegnung. Die Erstarrungswärme wird dabei am Boden frei und steigt nach oben, durch eine Überdachung entsteht ein positiver Zusatzeffekt. Dadurch werden die oben erwähnten negativen Auswirkungen reduziert, allerdings ist auch eine deutlich geringere Effizienz gegeben. Es können maximal Fröste im Temperaturbereich von -2 bis -3°C abgewehrt werden. Die beregneten Flächen sollten für einen ausreichenden Effekt eine Mindestgröße von 0,5 ha haben und die Böden gut durchlässig sein. Im Zusammenhang mit einer Unterkronen-

beregnung wird zudem empfohlen, die Begrünung nicht zu mulchen und das Schnittholz unzerkleinert in der Anlage zu belassen, da eine möglichst große Oberfläche am Boden benötigt wird⁷⁵. Bezüglich des Wasserbedarfs ist anzumerken, dass die benötigte Wassermenge nur etwas geringer ist, die negativen Auswirkungen auf den Boden sind demnach trotzdem gegeben.

Für den Weinbau wurde in Versuchen die Frostberegnung getestet, allerdings bestehen auch dort Probleme aufgrund der Eislast, der Wassersättigung des Bodens und mit der Wasserverteilung. Frostberegnungsversuche in Franken haben zudem gezeigt, dass bei einer unzureichenden Wassermenge sogar ein negativer Effekt (stärkere Schäden) entsteht, weil die Reben infolge nass sind, aber nicht ausreichend Wärme für einen Frostschutz entsteht⁷⁶.

Wirkungsprinzip

- Wasser gibt beim Gefrieren Wärme an die Umgebung ab

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost, bei Windgeschwindigkeiten maximal bis 3m/s

Überkronenberegnung (77,78)	
Vorteile	Nachteile
+ Sicherer Schutz bis -7°C + Auch bei Windfrost, aber nur bis Windgeschwindigkeiten von 3m/s + Zusätzliche Nutzung für Bewässerung oder Kühlung möglich + Keine Handarbeit notwendig + Umweltfreundlich + Leise + Geringe Betriebskosten + Lange Nutzungsdauer	- Hohe Investitionskosten (Speicherteich und Anlage) - Hoher Wasserverbrauch - Wasservorrat notwendig - Auswaschung von Nährstoffen - Bodenverdichtung, Lufthaushalt im Boden gestört - Bruchgefahr durch Eislast - Professionelle Planung und Auslegung der Anlage wichtig - Je nach Situation wasserrechtliche Bewilligung notwendig - Phytosanitäre Folgeprobleme bei einigen Kulturen – Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig

Unterkronenberegnung (79)	
Vorteile	Nachteile
+ Schutz bis -2°C bis -3°C	- Mindestgröße der Fläche >0,5 ha
+ Geringeres Risiko von Folgeschäden an Steinobst	- Etwas reduzierter, aber dennoch hoher Wasserverbrauch
+ Zusatzeffekt durch Überdachung	- Staunässe kann zum Problem werden

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Weiterentwicklung wassersparender Systeme (Prüfen der Wirkung, Steuerung)
 - Mikrosprinkler
 - Intervallberegnung
- Wasserbereitstellung, Wassernutzung, rechtliche Fragestellungen
- Erhöhung der Wasser-Rückgewinnung z.B. durch Auflegen von Folien
- Exaktere Steuerung von Ein- und Ausschaltzeitpunkt, Bewarnung über SMS/App
- Verbesserung der Messungen am Betrieb

6.2.3 Bewindung (Leonhard Steinbauer)

Das Funktionsprinzip der Windmaschinen ist einfach zu erklären. Bei Strahlungsfrösten entsteht eine Luftschichtung, und die kälteste Luft füllt zuerst die tiefsten Mulden der Anlage; es entsteht Frost in Bodennähe. Die Windmaschine saugt warme Luft, die sich über der Inversionsgrenze befindet, an und verdrängt mit der wärmeren Luft die Kälte aus der Anlage. Die dafür notwendige Inversionsschichtung ist nur bei Windgeschwindigkeiten von unter 1,5 Metern pro Sekunde gewährleistet.

Stationäre Windmaschinen sind knapp über 10 Meter hoch, haben einen Propeller mit 6 Metern Durchmesser und zwischen 2° bis 6° Anstellwinkel bei ebenen Flächen. Der Rotorkopf dreht sich alle vier Minuten um die eigene Achse. Der Weltmarktführer bietet einen sogenannten „dog-leg tower“ an, der den Einsatz bei bis zu 12° Hangneigung möglich macht. Durch den im oberen Drittel gekröpften Mast kann die Drehung des Rotorkopfes besser an die Form nicht ebener Feldstücke angepasst werden. Die Kontursteuerung dient zur Verbesserung der Anpassung an nicht regelmäßige Feldstücke. Mobile Windmaschinen haben eine Bauhöhe zwischen 5 und 7 Metern und dementsprechend kleineren Rotoren. Alle Windmaschinen können auch mit einer Zusatzheizung ausgerüstet werden.

Die leistungsfähigsten stationären Windmaschinen können mit einem Luftstrom von über 30.000 m³ pro Minute maximal 7 Hektar schützen, wobei der Schutz in den Randzonen verfahrensbedingt geringer ausfällt; der nominelle Schutzradius liegt bei knapp über 150 Metern. Die großen stationären Anlagen werden meist von flüssiggasbetriebenen Motoren angetrieben; in diesem Fall muss der Tankinhalt für 3 Einsatznächte dimensioniert werden (keine Nachlieferung während der Osterfeiertage möglich). Alternativ werden Dieselaggregate angeboten, der Tankinhalt wird dann für eine Einsatznacht bemessen. Mobile Anlagen sind für eher kleinere Flächen ausgelegt und mit kleineren Antrieben ausgestattet.



Abbildung 22: Windmaschine mit Zusatzheizung⁸⁰

Die Lärmbelastung neben der Maschine beträgt zwischen 101 und 122 Dezibel (dB), abhängig von der jeweiligen Drehzahl und der Frequenz. Am lautesten sind die Windmaschinen im Frequenzbereich bis 125 Hertz und zwischen 500 und 1.000 Hertz. In 100 Meter Entfernung werden noch immer 53 bis 74 dB gemessen; Gehörschäden treten bei längerfristiger Einwirkung erst ab 85 dB auf. Da Windmaschinen in der Regel nur sehr selten verwendet werden, sind sie von Seiten der Behörde hinsichtlich des Lärmpegels als landwirtschaftliches Gerät zur Abwehr von Schäden ähnlich wie Notstromaggregate zu beurteilen. In Frankreich gibt es Frostabwehrgenossenschaften, die bis zu 100 Windmaschinen nach Plan aufgestellt haben, um ganze Gemeinden schützen zu können.

Vor der Montage von Windmaschinen sollten unbedingt Topografie und Windverhältnisse der Flächen geklärt werden, nur so wird ein optimaler Schutz gewährleistet.

Wirkungsprinzip

- Brechen der Inversionslage
- Zufuhr von warmen Luftmassen

Wirkung bei

- Strahlungsfrost – Wirkung bis -3°C

Vorteile	Nachteile
+ Jederzeit einsatzbereit	- Für Hanglagen über 25% ungeeignet
+ Kostengünstige Modelle erhältlich	- Lärmbelästigung für Anrainer
+ Einfach in der Handhabung	- Topographische Studien vor der Aufstellung notwendig
+ Mit einer Heizung kombinierbar	- Abnehmende Wirkung an den Parzellenrändern
+ Lange Nutzungsdauer	- Bei stationären Anlagen: Genehmigungsverfahren notwendig
+ Automatisierbar	
+ Geringer Arbeitskräftebedarf	

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Wirkung und Schutzeffekt verschiedener Windrad-Typen
- Wirkungsweise und Effizienz von neuen Bauarten
- Wirkung und Schutzeffekt unter steirischen Bedingungen (Hang-/Steillagen)
- Ideale Heizungen für die Kombination mit Bewindung

6.2.4 Helikopter

Bei einer Inversionslage können beim Überfliegen mit dem Helikopter durch den abwärts gerichteten Luftdruck der Rotorblätter („downwash“) die warmen oberen Luftschichten nach unten gedrückt werden. Durch diese Vermischung der warmen und kalten Luftmassen wird die Inversion gebrochen und die Temperatur in Bodennähe erhöht. Die Umwälzung der Luftschichten macht nur bei Strahlungsfrost Sinn, bei leichten Inversionslagen oder Strömungsfrost ist kein ausreichender Effekt zu erwarten.

Durchführung

Die Flughöhe und das Intervall des Überfliegens sind von der Größe des Helikopters und der Witterungslage abhängig, daher variieren diesbezüglich auch die Angaben beträchtlich. Amerikanische Quellen geben eine Flughöhe von 20-30 m und ein Intervall von 30-60 Minuten an⁸¹. Deutsche Angaben liegen bei einer Flughöhe von 10-15 m und einem Intervall von ca. 10 Minuten, wodurch eine ständige Verwirbelung und ausreichende Wirkung gewährleistet ist⁸². Entscheidend ist, dass der Helikopter auf der richtigen Höhe im Verhältnis zur warmen Luftschicht fliegt. Bei einer Inversionslage wird es zunächst nach oben hin wärmer, dann liegt die warme Luftschicht und darüber wird es wieder kälter⁸³. Je nach Witterungsbedingungen und Größe des Helikopters deckt ein Gerät zwischen 20-50 ha ab^{84,85}. Die Angaben zur Fluggeschwindigkeit schwanken zwischen 8-16 km/h bzw. 25-40 km/h, eine höhere Geschwindigkeit bringt keinen Vorteil⁸⁶. Mit einem Helikopter kann eine hohe Flächenleistung erbracht werden, und die Kosten pro Hektar bleiben damit – trotz der hohen absoluten Kosten – bei zusammenhängenden Flächen auf einer vertretbaren Höhe. Bei zusammenhängenden Rebflächen und gemeinschaftlichem Einsatz belaufen sich die Kosten auf 250-400 €/ha⁸⁷. Die Steuerung des Flugeinsatzes kann mit Hilfe von Temperatursensoren am Helikopter selbst und Temperaturmessungen am Boden erfolgen.

Ein wesentlicher Nachteil des Helikopters ist, dass ohne Nachtfluggenehmigung nur tagsüber geflogen werden darf, was bedeutet, dass frühestens eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang gestartet werden kann. Das ist zwar meistens der kälteste Zeitpunkt, aber die Temperaturen können bereits früher in einen kritischen Bereich fallen – dann kommt der Helikopter zu spät.

Für einen Helikoptereinsatz sind Planung und Koordination im Vorfeld und die Bereitstellung des Helikopters erforderlich. Zudem wird eine gewisse Infrastruktur (Landeplatz, überdachter Einstellplatz) benötigt, damit der Helikopter überhaupt zum Einsatz kommen kann.



Abbildung 23: Helikoptereinsatz zur Frostbekämpfung, 21. April 2017⁸⁸

Wirkungsprinzip

- Brechen der Inversionslage
- Zufuhr von warmen Luftmassen

Wirkung bei

- Strahlungsfrost

Vorteile	Nachteile (89)
+ Rascher und stabiler Temperaturanstieg + Hohe Flächenleistung + Kosten vergleichsweise gering – zusammenhängende Flächen vorausgesetzt + Keine Fixkosten + Keine fixen Investitionen	- Ohne Nachtfluggenehmigung Start erst 30 min vor Sonnenaufgang - Lärmbelästigung der Anrainer - Nur bei gemeinschaftlichem Vorgehen sinnvoll - Für verstreute Flächen zu teuer, daher im Allgemeinen nur in Gemeinschaften umsetzbar - Verfügbarkeit von Helikoptern - Logistische Herausforderung

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Organisation und Koordination von gemeinschaftlichen Einsätzen
- Praxistaugliche Temperaturmessung und Steuerung des Einsatzes
- Möglichkeit von Unterstützung durch öffentliche Institutionen
- Möglichkeit für Nachtflug-Genehmigungen

6.2.5 Räuchern

Strahlungsfrost tritt in klaren, windstillen Nächten auf: Die Wärme des Bodens wird an die Atmosphäre abgestrahlt. Der Effekt des Räucherns beruht darauf, dass durch die Vernebelung die Wärmeabstrahlung vermindert wird. Als zweiter Effekt wird bei Sonnenaufgang durch die diffusen Lichtverhältnisse die Erwärmung der Zellen verlangsamt (ähnlich wie bei einer Bewölkung); dadurch platzen weniger Pflanzenzellen auf, weil sich das gefrorene Gewebe langsamer erwärmt.

Durch Räuchern kann nur ein Effekt erzielt werden, wenn es sich um ein Strahlungsfrostereignis handelt und eine vollständige Vernebelung der Anlage erreicht wird. Genau diese vollständige Vernebelung ist bei Hang- und Steillagen extrem schwierig umzusetzen. Insbesondere bei Wind, Strömungsfrost und einer ungenügenden Verteilung des Rauches ist es wirkungslos. Für Stau- oder Kessellagen kann bei entsprechender Wetterlage und gemeinsamem Vorgehen der Betriebe eine ausreichende Vernebelung erreicht werden.

Für das Verbrennen von biogenen Materialien zum Zweck des Frostschutzes besteht in der Steiermark eine Ausnahmerebestimmung. Das Räuchern ist demnach – unter Berücksichtigung der entsprechenden Vorschriften – für den Frostschutz zulässig. Untenstehend ist die rechtliche Situation im Detail dargelegt, wobei besonders der Widerspruch bezüglich Rauchentwicklung auffällt.

Rechtliche Situation betreffend Räuchern⁹⁰

„Das Bundesgesetz über das Verbrennen von Materialien außerhalb von Anlagen (Bundesluftreinhaltegesetz) regelt, dass grundsätzlich das punktuelle als auch das flächenhafte Verbrennen von Materialien außerhalb dafür bestimmter Anlagen verboten ist. Der Landeshauptmann kann jedoch mit Verordnung zeitliche und räumliche Ausnahmen vom Verbot des Verbrennens biogener Materialien für das Räuchern im Obst- und Weingartenbereich als Maßnahme des Frostschutzes festlegen.

Eine solche Ausnahmebestimmung wurde in der Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 8. August 2012 über die Zulässigkeit von Ausnahmen vom Verbot des Verbrennens biogener Materialien außerhalb von Anlagen (Verbrennungsverbot-AusnahmenVO) verankert. Das Räuchern im Obst- und Weingartenbereich als Maßnahme des Frostschutzes ist der zuständigen Bezirksverwaltungsbehörde bis spätestens 24 Stunden vor dem Entzünden des Feuers zu melden und in geeigneter Form (zB mittels Fotos) zu dokumentieren. Auf Verlangen sind die Dokumentationen der zuständigen Bezirksverwaltungsbehörde vorzuweisen. Es sind geeignete Maßnahmen zu treffen, die eine unkontrollierte Ausbreitung des Feuers verhindern, z. B. durch das Bereithalten geeigneter Löschhilfen in der Nähe der Feuerstelle. Es ist auf eine möglichst geringe Rauchentwicklung zu achten, um eine unzumutbare Belästigung der Nachbarschaft zu vermeiden.

Das Räuchern im Obst- und Weingartenbereich als Maßnahme des Frostschutzes ist daher zulässig, wobei jedoch darauf zu achten ist, dass die Rauchentwicklung möglichst gering gehalten wird. Eine Meldung hat rechtzeitig – 24 Stunden vor dem Entzünden - an die zuständige Bezirkshauptmannschaft zu ergehen. Übertretungen dieser Verordnung sind nach § 8 Bundesluftreinhaltegesetz strafbar und werden mit Geldstrafen bis zu 3630 € geahndet.“



Abbildung 24: Räuchern als Frostschutzmaßnahme, 21. April 2017⁹¹

Sehr kritisch zu sehen ist die gesundheitliche Belastung durch den Rauch der ausführenden Personen und der Anrainer. Zudem ist die Methode hinsichtlich Feinstaubbelastung als problematisch einzustufen. In Summe ist das Räuchern daher nicht als zukunftsfähige Methode der Frostabwehr einzustufen⁹².

Durchführung

Zur Erzeugung einer möglichst dichten Rauchdecke werden organische Materialien angezündet. Es können Stroh, Heu, Holz, Hackschnitzel oder altes Rebholz verwendet werden. Um eine entsprechende Rauchentwicklung zu verursachen, sollte das Material feucht sein oder mit feuchtem Material abgedeckt werden⁹³.

Wirkungsprinzip

- Verminderung der Wärmeabstrahlung
- Erwärmung der Pflanzen verlangsamt

Wirkung bei

- Strahlungsfrost

Vorteile	Nachteile (94,95)
+ Kostengünstig + Einfache Ausführung + Notwendige Materialien sind kurzfristig verfügbar	- Gesundheitliche Belastung für Anwender und Bevölkerung, Geruchsbelästigung - Umweltbelastung, Feinstaubproblematik - Gefährdung von Verkehrsteilnehmern - Bei Wind schwierige Bedingungen für eine gleichmäßige Nebeldecke - Nur bei gemeinschaftlichem Vorgehen erfolgreich - In Hang- und Steillagen schwierig umzusetzen - Hoher Arbeitskräftebedarf (Vorbereitung/Durchführung)

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Gesundheitliche Belastung, Umweltbelastung
- Akzeptanz in der Bevölkerung

6.2.6 Frostkerzen

Die Wirkung von Frostkerzen beruht auf der Erzeugung von Wärme. Je nach Temperaturdifferenz, die zu überwinden ist, wird daher eine große Anzahl von Wärmequellen benötigt, um die notwendige Heizleistung zu erreichen. Die Frostkerzen sind grundsätzlich bei Strahlungs- und Strömungsfrost anwendbar, wobei die Wirkung bei Strömungsfrosten aber geringer ist^{96,97}. Die Brenndauer verkürzt sich, wenn Wind auftritt. Versuche in Franken haben einen deutlichen Unterschied in der Temperaturerhöhung zwischen den nicht mehr zugelassenen „Frostkiller“ und den heute angebotenen Stop-Gel[®] gezeigt. Diese sind zudem wesentlich rußärmer, konnten die Temperatur aber auch stabil erhöhen – allerdings waren mehr Kerzen als laut Hersteller dafür notwendig⁹⁸.

Durchführung

Je nach Minustemperatur werden 200-500 Kerzen pro Hektar benötigt (vgl. Tabelle 3). Die Brenndauer wird von den Herstellern zwischen 8 und 10 Stunden angegeben, diese Angaben beziehen sich jedoch auf windstille Bedingungen. Pro Hektar sollten 500 Kerzen aufgestellt werden, und abhängig von den gemessenen Temperaturen können alle oder ein Teil der Kerzen entzündet werden. Bei windigen Bedingungen ist die Wirkung weniger gut; darauf kann mit einer größeren Anzahl an den Rändern der Anlagen reagiert werden. In Kombination mit geschlossenen Hagelnetzen im Obstbau kann die Wirkung verbessert und damit möglicherweise die Anzahl der Kerzen pro Hektar verringert werden. Unter Foliendächern ist ein Einsatz problematisch, weil eine starke Verrußung der Foliendächer auftritt⁹⁹. Zudem ist – auch wenn die heute verfügbaren Kerzen rußärmer brennen – dennoch von einer relevanten Umweltbelastung auszugehen¹⁰⁰. Die Rauchentwicklung ist für die Schutzwirkung nicht entscheidend, kann aber dennoch so markant sein, dass eine Information der Feuerwehr im Vorfeld zu empfehlen ist¹⁰¹.

Temperatur unter 0°C	0° bis -2°	-3°	-4°	-5° bis -6°	-6° bis -7°
Anzahl der erforderlichen Kerzen pro ha	200	250 - 300	300 - 350	350 - 400	400 - 500

Tabelle 3 Anzahl der erforderlichen Kerzen in Abhängigkeit von der Temperatur¹⁰²

Um im Falle eines Frostes die Kerzen zur Verfügung zu haben, sind eine Bevorratung und somit eine entsprechende Vorfinanzierung und Lagerfläche notwendig. Je nach Kerzenpreis und Temperaturdifferenz fallen Kosten zwischen 2000 bis 5500 €/ha für eine Frostnacht an. Der Arbeitsaufwand für das Aufstellen und Anzünden der Kerzen darf nicht unterschätzt werden: Für das Anzünden muss mit 30-40 min/ha gerechnet werden, je nach System sind eine (integrierte Grillanzünder) oder zwei Personen erforderlich (Entzünden mit Heizöl-/Benzingemisch, aus Sicherheitsgründen zwei Personen notwendig)¹⁰³.

Die verschiedenen Fabrikate der Kerzen unterscheiden sich in Bezug auf die Regelmäßigkeit der Befüllung, die Rauchentwicklung, den Preis, die Brenndauer, den Durchmesser und die Befüllung. Am

wenigsten Rauchentwicklung entsteht bei dem Fabrikat Stop-Gel[®], diese sind daher in der Nähe von Siedlungsgebieten zu bevorzugen. Kerzen mit einer größeren Oberfläche (z.B. Stop Ice[®]) zeigen dadurch eine leicht höhere Wärmeentwicklung und brennen etwas zügiger ab. Der gleiche Effekt entsteht, wenn die Kerzen schräg stehen. Eine möglichst ebene Aufstellung ist daher von Vorteil, muss aber in Hang- und Steillagen auch vorbereitet werden. Die Kerzen bestehen, je nach Fabrikat, aus Paraffin (Herstellung aus Erdöl) oder Stearin (Herstellung aus Fleischabfällen, teilweise Beimischung von Palmöl)¹⁰⁴.

Wirkungsprinzip

- Zufuhr von Wärme

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost (geringere Wirkung)

Vorteile	Nachteile (105, 106, 107,108)
+ Zuverlässige, gute Wirkung + Lange Brenndauer + Einfache Handhabung + Kleinräumiger, einzelbetrieblicher Einsatz möglich + Gut dosierbarer Einsatz + Abbruch der Maßnahme möglich + Weniger Rauchentwicklung als bei anderen Heizmethoden	- Sehr hohe Kosten, daher nur für Kulturen mit hohem Deckungsbeitrag (Aprikosen, Kirschen, Lagenweine) geeignet - Hoher Arbeitskräftebedarf (Vorbereitung/Durchführung) - Große Lagerkapazität notwendig - Bedeutende Luftverschmutzung - Einigermaßen ebene Aufstellfläche notwendig - Verrußung von Foliendächern

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Unterschiedliche Fabrikate – unterschiedliche Wirkung?
- Einfluss der Thermik
- Optimales Aufstellmuster in Hang- und Steillagen
- Wirkungsgrad auf Hang- und Steillagen
- Kurzfristige Verfügbarkeit der Kerzen

6.2.7 Frostheizung/Frostofen

Das Heizen von Kulturen wird seit mindestens 2000 Jahren praktiziert. Durch das Verbrennen von festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen wird Energie als Konvektionswärme (ca. 75%) und Strahlungswärme (ca. 25%) frei. Diese Methode funktioniert am besten in ruhigen und windstillen Nächten mit einer Inversionslage, aufgrund des Anteils an Strahlungswärme ist eine (reduzierte) Schutzwirkung auch bei Strömungsfrost gegeben¹⁰⁹.

Durchführung

Grundsätzlich gibt es zwei Methoden – offene Feuerstellen oder metallene Heizöfen, die mit Brennmaterialien befüllt werden. Je nach Heizleistung sind ca. 150-400 Heizstellen für einen Hektar notwendig. Die Heizöfen werden entweder mit Heizöl, Propangas oder festen Brennstoffen (Holz, Kohle, Koks) betrieben. Ein Liter Heizöl liefert 38 MJ pro Stunde, für einen sicheren Frostschutz bedarf es ca. 13.000 MJ/h Heizleistung, was bei einer Heizdauer von 8 h ca. 2700 Liter Heizöl entspricht. Der Wirkungsgrad erhöht sich, wenn man mehr Heizquellen für die gleiche Menge Brennstoff verwendet. Die Aufstellung der Heizquellen ist an die jeweilige Geländeform anzuweisen, eine größere Anzahl wird z.B. an den Rändern, in Windschneisen und in Senken benötigt¹¹⁰. Analog zu den Frostkerzen verbessert sich der Wirkungsgrad in geschlossenen Systemen wie Gewächshäusern, Tunnels, etc.

Die steigenden Preise für die Brennstoffe haben dazu geführt, dass die Methode einerseits weniger zum Einsatz kommt und andererseits auch illegale Brennstoffe verheizt werden. Für eine sinnvolle Umsetzung sind Brennmaterialien notwendig, die leicht und zügig verfügbar, kostengünstig sowie hinsichtlich Umweltbelastung unbedenklich sind und ausreichend effizient verbrennen. Auch die Handhabung (Entzünden, Befüllen, etc.) muss praktisch und zeitsparend sein.

Wirkungsprinzip

- Erhöhung der Temperatur durch Verbrennen von festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile
+ Einfache Handhabung	- Je nach verwendeten Brennstoffen: Umweltbelastung
+ Heizgeräte können dauerhaft verwendet werden	- Hoher Arbeitskräftebedarf (Vorbereitung/Durchführung)
	- Teilweise hohe Kosten für Brennmaterialien

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Kostengünstige, leicht verfügbare, zulässige und umweltfreundliche Brennmaterialien
- Notwendige Mengen für ausreichende Wirkung und Brenndauer
- Alternative Heizgeräte

6.2.8 Abdecken

Beim Abdecken von Kulturen beruht der Frostschutzeffekt auf der Hemmung der Wärmeverluste durch Abstrahlung oder Konvektion. Es können Folien- oder Vliesabdeckungen zum Einsatz kommen, wobei die Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien zu beachten sind. In zahlreichen Ländern kommen auch organische Materialien wie Stroh, Heu, Bambus etc. zum Einsatz¹¹¹.

Durchführung

Durch das Schließen von Foliendächern, z.B. bei Kirschen, wird vorwiegend die Abstrahlung von Wärme vermindert (Carport-Effekt). Bei den Kunststofffolien sind die Unterschiede zwischen den Materialien immens: Polyethylen (PE) lässt Wärmestrahlung ungehindert durch und hat damit keinen Schutzeffekt, Polyvinylchlorid (PVC) kann hingegen die Wärmestrahlung abfangen und zurückhalten. In geschlossenen Systemen kann mit einer zusätzlichen Beheizung der Anlagen der Frostschutz verstärkt werden und die Effizienz der Heizmaßnahmen ist dadurch wesentlich größer¹¹².

Aluminiumbeschichtete Folien können Wärmestrahlung nicht nur adsorbieren, sondern auch reflektieren. Da sie jedoch kein Licht durchlassen, müssen sie am Tag wieder entfernt werden, was einen entsprechend großen Aufwand bedeutet¹¹³.

Die Wirkungsweise von Vlies ist etwas komplexer: Das Vlies an sich verhindert kaum die Wärmeverluste durch Abstrahlung oder Konvektion, aber in Kombination mit Reifbildung oder einer Frostberegnung kann eine Vliesabdeckung eine Frostschutzwirkung bis zu Temperaturen von -5°C entwickeln. Die Frostschutzwirkung einer Vliesabdeckung hängt jedoch von den Bedingungen ab.

Gute Wirkung einer Vliesabdeckung bei Erdbeeren:

- Strahlungsfrost ohne Wind
- Kein Stroh ausgebracht
- Hohe Bodenfeuchte
- Hoher Taupunkt mit Reifbildung auf dem Vlies

Unter diesen Bedingungen treten geringe Wärmeverluste auf und über den Boden und die Reifbildung findet eine hohe Wärmezufuhr statt.

Schlechte Wirkung einer Vliesabdeckung bei Erdbeeren:

- Leichter Wind, keine Wolken
- Stroh ausgebracht
- Trockener Boden
- Niedriger Taupunkt ohne Reifbildung

Diese Voraussetzungen führen zu hohen Wärmeverlusten und über den Boden wird wenig Wärme nachgeliefert, da die Stroheindeckung isoliert und der trockene Boden weniger Wärme speichert und abstrahlt. Eine zusätzliche Frostberegung ist daher unter solchen Umständen besonders sinnvoll¹¹⁴. Eine Kombination von Infrarot-Heizbändern mit Vlies ist ebenfalls möglich¹¹⁵. Bei Erdbeeren muss die Vliesabdeckung am Tag entfernt werden, damit die Bestäubung durch die Insekten und damit der Fruchtansatz gesichert ist.

Besonders bei bodennahen Pflanzen kann aufgrund der reduzierten Luftzirkulation durch die Abdeckung ein erhöhter Krankheitsdruck auftreten¹¹⁶.

Wirkungsprinzip

- Reduktion von Wärmeverlusten

Wirkung bei

- Strahlungsfrost

Vorteile	Nachteile (117,118)
+ Kombinationen mit Heizen/Frostberegung steigern die Effizienz der Verfahren + Keine Emissionen + Mehrfache Verwendung möglich	- Hoher Arbeitskräftebedarf - Vliese/Aluminiumbeschichtete Folien müssen untertags entfernt werden - Erhöhte Krankheitsgefahr aufgrund mangelnder Belüftung - Bei Plastikfolien: Ausgangsmaterial und Entsorgung

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Anwendung der Methode bei anderen Kulturen

6.3 NEUE UND WEITERE METHODEN (SIMONE ABERER UND SABRINA DREISIEBNER-LANZ)

6.3.1 Austrieb chemisch verzögern

Um den Austrieb der Reben chemisch zu verzögern, gibt es zwei Ansätze: einerseits die Applikation von Pflanzenhormonen (z.B. Abszisinsäure (ABA) auf die Laubwand vor dem Blattfall) oder die Applikation von Pflanzenölen oder Alginaten auf die Knospen im Frühjahr. Die Anwendung von Pflanzenhormonen ist für die heimischen Weinbaugebiete und Sorten kaum erforscht und eine Praxisanwendung daher noch nicht absehbar. Aufgrund mehrerer Versuche in Franken und Österreich gibt es allerdings schon einige Erkenntnisse zur Austriebsverzögerung mit Ölen. Der austriebsverzögernde Effekt der Ölbehandlung beruht darauf, dass die Atmung der Knospe reduziert wird und damit die Lebensvorgänge eingebremst werden. Die Versuche aus dem Jahr 2017 der Universität für Bodenkultur in Krems haben bei Grünem Veltliner und Zweigelt eine Austriebsverzögerung von 8-15 Tagen festgestellt^{119,120}. Versuche in Franken haben gezeigt, dass der Austrieb mit zunehmender Anzahl von Behandlungen stärker verzögert wird und dass die Reaktion sortenabhängig ist. So verschob sich der Austrieb bei Silvaner z.B. schon mit einer Behandlung um 32 Tage, und in einigen Varianten blieb der Austrieb komplett aus¹²¹.

Nach dem aktuellen Wissensstand bringt eine zweimalige Applikation mit einer 10%igen Ölsuspension eine sinnvolle Verzögerung des Austriebs. Entscheidend für den Erfolg ist dabei der richtige Zeitpunkt der Applikationen und eine gute Benetzung und Abdeckung der Knospen. Die Applikation muss erfolgen, bevor sich die Knospenschuppen heben – dies entspricht zwei Terminen etwa 30 und 15 Tage vor dem Austriebszeitpunkt. Den richtigen Zeitpunkt für die Behandlung zu bestimmen, ist die große Herausforderung der Methode, denn das tatsächliche Ende der Knospenruhe hängt von vielen Faktoren – wie z.B. Sorte, Temperatursumme und Basistemperatur – ab¹²². Auch die Witterung nach der Behandlung spielt aufgrund der Abwaschung eine Rolle¹²³.

Der Entwicklungsrückstand wurde von den Reben während der Vegetation aufgeholt, je nach Versuch wurden ertragsmindernde Effekte festgestellt (Franken 2014) oder nicht (Krems 2017). Eine Qualitätsminderung des Lesegutes oder ein deutlicher Reiferückstand wurde bei keinem der Versuche nachgewiesen^{124,125}. Aufgrund der großen Varianz zwischen den Jahren können daraus aber keine abschließenden Aussagen getroffen werden.

Wirkungsprinzip

- Chemische Verzögerung des Austriebs

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile	(126)
+ Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar + Einfache Maßnahme + Kostengünstig	- Noch keine Praxistauglichkeit - Bestimmung des optimalen Applikationszeitpunktes schwierig - Derzeit keine Zulassung - Wirkung von vielen Faktoren abhängig	

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Bestimmung des tatsächlichen Endes der Knospenruhe und des idealen Einsatzzeitpunktes
- Modellierung des Austriebzeitpunktes
- Einfluss von Sorte, Witterung, etc.
- Effekt auf vegetatives Wachstum, Ertrag und Qualität

6.3.2 Blüte verzögern

Zur Verzögerung des Vegetationsbeginns und damit der Blüte bei Obstkulturen wurden diverse Versuche angestellt. Folgende Ansätze wurden verfolgt^{127,128,129}:

Verzögerung durch späten Schnitt / „double pruning“

Durch stark verspätete Schnittmaßnahmen wird die Blüte von Obstbäumen verzögert. Nach Strahlungsfrösten noch vorhandene Früchte befinden sich im oberen Bereich der Bäume. Daraus abgeleitet wird die Empfehlung, den Schnitt zu zwei Zeitpunkten durchzuführen: Zuerst sollen die unteren, nach der Spätfrostgefahr erst die oberen Äste geschnitten werden¹³⁰.

Verzögerung durch Bewässerung in der Vorblütezeit

Die Bewässerung an warmen Wintertagen hat eine kühlende Wirkung und provoziert folglich einen verzögerten Austrieb. Versuche mit verschiedenen Obstgehölzen (Äpfel, Birnen, Kirschen, Pfirsiche) haben gezeigt, dass eine Blüteverzögerung von zwei Wochen und mehr möglich war, wenn an Wintertagen mit Temperaturen über 6-7°C geregnet wurde. Der Effekt der Beregnung hängt dabei aber nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Luftfeuchtigkeit ab; bei feuchten Bedingungen ist wenig Kühleffekt zu erwarten. Zudem wurden auch unerklärliche Ertragsminderungen festgestellt und die erhöhte Empfindlichkeit der Knospen gegen Frost wirkte den Vorteilen der verzögerten Blüte entgegen. Eine Kühlung durch künstlichen Nebel wird als mögliche Alternative angeführt¹³¹.

Verzögerung durch Pflanzenhormone

Im Bereich der Pflanzenhormone wurden diverse Anwendungen getestet. Die Applikation von Gibberellinen kann die Blüte einiger Kulturen verzögern, es sind jedoch mehrfache Anwendungen dafür notwendig. Die Applikation von Ethephon im frühen Herbst verzögerte in Versuchen die Blüte um 4-7 Tage.

Verzögerung durch weißen Anstrich der Bäume

Der Kalkanstrich von Bäumen im Spätsommer/Früherbst ist eine traditionelle Methode, die zum Ziel hat, die Erwärmung des Stammes durch die Reflexion auf der weißen Oberfläche zu reduzieren. Dadurch kommt es bei Frostereignissen zu geringeren Temperaturschwankungen im Holz und weniger Rissen im Stamm. Bei Äpfeln konnte durch einen Anstrich während der Wintermonate eine Verzögerung der Blüte von wenigen Tagen festgestellt werden¹³². Ein anderer Denkansatz, der in eine ähnliche Richtung geht, ist z.B. das Kalken der Böden im Frühjahr¹³³. Keiner der erwähnten Ansätze hat bisher – trotz der teilweise erzielten Erfolge – zu praxistauglichen Verfahren oder Anwendungsempfehlungen geführt. Hierfür sind unterschiedliche Gründe zu nennen: arbeitswirtschaftliche Überlegungen, hoher Wasserverbrauch und Vernässung, unerwünschte Nebenwirkungen beim Einsatz von Pflanzenhormonen, großer Arbeitsaufwand beim Anstrich oder ungünstige Relation von Kosten und Nutzen¹³⁴.

6.3.3 Befruchtung chemisch verbessern

Alternativ zu den traditionellen Methoden zur Verbesserung der Befruchtung (vgl. Kapitel 6.1.6) kann der Fruchtansatz durch den Einsatz von Phytohormonen verbessert werden bzw. bereits entstandene Schäden durch Blütenfröste ausgeglichen werden. Die bisher einzige praxistaugliche Variante ist die Behandlung von Birnen mit Giberellinen nach einem Frostereignis. Sowohl bei einem Frostereignis vor der Blüte (20-50% geöffnete Blüten) als auch bei einem Frost während der Blüte kann der Ertrag mit einer Gibberellin-Behandlung deutlich gesteigert werden. Es ist allerdings zu beachten, dass nicht alle Sorten gleich reagieren, unterschiedliche Gibberellinpräparate verschieden wirken und eine Beeinflussung der Fruchtform erfolgt. Je nach Produktionsziel (Verarbeitungsobst oder Frischmarkt) ist dieser Nachteil mehr oder weniger relevant^{135,136}. Steinobst weist einen ganz anderen Blütenaufbau als Kernobst auf: Die Blütenblätter umhüllen die zukünftige Frucht. Von einer Applikation von Pflanzenhormonen ist daher keine vergleichbare Wirkung wie bei den Birnen zu erwarten¹³⁷.

Wirkungsprinzip

- Erhöhung des Frucht-Ansatzes – höherer Anteil an Ausfall tolerierbar bzw. Ausgleich von Frostschäden

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile (138,139)
+ Einfache, gezielte Methode	- Nur für Birnen praxistauglich
+ Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar	- Beeinflussung der Fruchtform

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Anwendbarkeit für andere Kulturen

6.3.4 Heizdraht

Die Verwendung von Heizdrähten befindet sich im Versuchsstadium. Die Idee beruht auf einem Patent aus Frankreich, das im Jahre 1998 entwickelt wurde. Um die Kordonarme oder Strecker der Reben werden Heizdrähte gewickelt, die in Frostnächten Energie abgeben und damit das Pflanzengewebe und den Pflanzensaft erwärmen.

Durchführung

In ersten Versuchen wurden die Heizdrähte direkt um die Bögen der Rebe gewickelt und konnten an Topfreben einen Frostschutz bis -4°C bieten. Die Investitionskosten liegen bei ca. 12.000 €/ha, wobei der große Vorteil der Methode darin liegt, dass eine Wirkung unabhängig von der Frostart zu erwarten ist. Problematisch ist die Montage an den Bögen, weil dies einen jährlichen Abbau und Neu-Montage erfordert. Es werden verschiedene alternative Anbringvarianten (dauerhafte Montage / am Stamm / nur mit Bändern befestigt) getestet, es liegen jedoch noch keine Ergebnisse vor^{140,141}. Eine dauerhafte Anbringung an den Reben reduziert zumindest die jährlichen Montagekosten.

Der hohe Stromverbrauch und die hohen Installationskosten begrenzen derzeit die Praxistauglichkeit. Für kleine Flächen ist eine Anwendung denkbar, für den großflächigen Einsatz würden effizientere Lösungen gebraucht.

Wirkungsprinzip

- Zuführung von Wärme durch Heizdrähte

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile (142,143)
+ Kleinräumig, sortenspezifisch und einzelbetrieblich umsetzbar + Triebe bis ca. 40 cm Länge können geschützt werden + In der Frostnacht selbst besteht kaum Aufwand	- Nur auf kleinen Flächen einsetzbar - Hoher Stromverbrauch, Stromanschluss oder Generator notwendig - Hohe Installationskosten - Schäden durch Rebschnitt/Lese möglich - Je nach System: Draht muss jedes Jahr neu gewickelt werden - Flachbogen obligatorisch

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Effizientere Lösungen hinsichtlich
 - Stromverbrauch
 - Anbringung

6.3.5 Frostbuster®/FrostGuard®

Beim Frostbuster handelt es sich um ein gezogenes Gerät, das mittels Gasturbinen die Luft erwärmt, durch das Ausblasen der warmen Luft die Umgebungsluft erwärmt und zu einer Abtrocknung der Pflanzenoberfläche führt. Die Reichweite soll dabei bis zu 50 m betragen und eine Abdeckung von 8-10 ha mit einem Gerät möglich sein. Der FrostGuard ist die stationäre Variante des Gerätes, hier dreht sich das Gerät am Platz und soll eine Reichweite von ca. 100 m haben. Damit kann es eine Fläche von 0.7-1 ha abdecken und ist für kleinere Flächen und Gewächshäuser geeignet. Das stationäre Gerät ist auch mit einer Einschaltautomatik verfügbar¹⁴⁴.

Ein Versuch des Lehr- und Forschungszentrums für Wein- und Obstbau Klosterneuburg bei Marillen zeigte keinen eindeutigen Effekt des Frostbusters, allerdings wurden keine Temperaturmessungen durchgeführt, sondern die Frostschäden bonitiert. Diese waren stark sortenabhängig, und zum Effekt der Abwehrmaßnahme konnte keine Aussage getroffen werden¹⁴⁵. Praxistests in Südtirol haben keine ausreichende Wirkung gezeigt¹⁴⁶. Der Wirkungsgrad im Freiland muss aufgrund der relativ geringen ausgebrachten Wärmemengen und den Wärmeverlusten durch die Thermik als begrenzt eingeschätzt werden^{147,148}. Für den Frostbuster ist zudem die Befahrbarkeit der Anlagen in Frostnächten erforderlich, besonders ein Einsatz in Hang- und Steillagen ist aus diesem Grund fraglich.

Wirkungsprinzip

- Zuführung von Wärme mittels Gasturbine

Wirkung bei

- Strahlungsfrost
- Strömungsfrost

Vorteile	Nachteile (149,150)
+ Frostbuster: große Schlagkraft + FrostGuard: Einschaltautomatik	- Frostbuster: Anlagen müssen in der Frostnacht befahrbar sein - Frostbuster: Einsatz in Hang- und Steillagen kaum möglich - Hoher Energiebedarf/hohe Energiekosten

Offene Fragen/Forschungsbedarf

- Wirkungsgrad und -radius in Hang- und Steillagen

6.3.6 Selective inverted sink-Technologie (SIS)

Die SIS-Technologie beruht auf dem horizontalen Ansaugen von kalter, bodennaher Luft mit einem Propeller. Diese wird durch einen Schacht nach oben geblasen und soll eine Zirkulation der Luftmassen bewirken. Die Vorteile gegenüber Windrädern sind die geringere Lärmbelastung und die reduzierten Kosten. Besonders die Bildung eines Kaltluftsees in Senken soll damit verhindert werden. Amerikanische Versuche zeigten eine Temperaturerhöhung von 2°C, in Versuchen der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau konnte jedoch kein Einfluss auf die Temperatur bestätigt werden. Die Versuchsansteller führen die fehlende Wirkung einerseits auf die unzureichende Reichweite des Geräts zurück, andererseits waren die Geländebedingungen für die Anwendung der SIS-Technologie ungeeignet. Voraussetzung für eine optimale Funktion sind geschlossene Becken- und Tallagen, in die keine Kaltluft von oben nachfließt¹⁵¹.

6.3.7 Vernebelung

In Deutschland ist das Räuchern aus Gründen des Immissionsschutzes verboten¹⁵². Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau führte daher in den Jahren 2012 und 2013 Freilandversuche durch, um Alternativen zum Räuchern mit biogenen Materialien zu finden. Es wurden Nebelkerzen und Vernebelungsmaschinen getestet. Der erzeugte Nebel bestand hauptsächlich aus Rauch, kaum aus Wasserdampf, deshalb konnte damit kein ausreichender Wärmepuffer aufgebaut werden. Zudem konnte keine gleichmäßige Verteilung und ausreichend lange Verweildauer des Nebels erzielt werden. Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau bewertete diesen Ansatz daher als unwirksam¹⁵³.

Aus der Praxis ist bekannt, dass weniger Frostschäden auftreten, wenn sich nachts in Senken Nebelbänke bilden. Dieser Effekt beruht darauf, dass die feinen Wassertröpfchen als Wärmespeicher wirken und der Nebel das Absinken kalter Luftmassen verhindert¹⁵⁴. Eine künstliche Nebelerzeugung in Form von Wasserdampf könnte demnach eine Alternative darstellen, wobei nicht nur eine Anwendung in der Frostabwehr, sondern auch für andere Problemstellungen denkbar ist (z.B. Kühlung vgl. Kapitel 6.3.2).

6.3.8 Schaumisolierung

Durch das Aufbringen eines lufthaltigen Schaums wird eine Isolationsschicht auf die Kultur ausgebracht. Dadurch werden Strahlungsverluste verhindert, und die Wärmeabstrahlung des Bodens wird abgefangen. Zwischen geschützten und ungeschützten Flächen konnten Temperaturunterschiede von 10°C festgestellt werden. Diese Methode ist kaum verbreitet, da sie teuer und aufwendig ist. Es können nur bodenblühende Pflanzen damit geschützt werden¹⁵⁵. Der Schaum muss aus vielen kleinen Bläschen bestehen, um einen entsprechenden Isolationseffekt zu erreichen. In Feldversuchen wurden verschiedene Schaumrezepte erfolgreich erprobt – der Schaum hielt sogar Windgeschwindigkeit von bis zu 10 m/s stand. Es wurden keine Schäden durch Pilze oder Bakterien an den Pflanzen festgestellt, als Problem erwies sich jedoch die im Schaum enthaltene Gelatine, weil sie Spuren hinterlässt und mit Wasser nachgespült werden muss. Die beste Schutzwirkung des Schaums ist in der ersten Nacht gegeben, dann lässt die Wirkung nach¹⁵⁶.

6.3.9 Eisbildung verhindern

Im Pflanzensaft sind lösliche Substanzen vorhanden, was dazu führt, dass eine Eisbildung erst unter 0°C einsetzt. Viele Pflanzen können auch Temperaturen deutlich unter 0°C ohne Eisbildung und Schädigung überstehen („supercooling“) – Voraussetzung dafür ist jedoch, dass keine Eiskeime vorhanden sind. Eiskeime wirken als Katalysatoren für die Eiskristallbildung und bewirken damit ein Gefrieren bei geringerer Kälte. Einige Bakterienarten, sogenannte INA-Bakterien (z.B. *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Erwinia herbicola* u.a.), produzieren Proteine, die als Eiskeime wirken. Nachdem ein Zusammenhang zwischen der Anwesenheit dieser Bakterien und Frostschäden nachgewiesen wurde, liegt die Schlussfolgerung auf der Hand: Durch eine Reduktion der Bakterien sollte Unterkühlbarkeit des Pflanzengewebes erhöht und damit Frostschäden abgewendet werden können. Daraus abgeleitet werden zur Verringerung der Eiskeimaktivität Pflanzenschutzmaßnahmen mit Bakteriziden (z.B. Kupfer) und der Einsatz von nicht-eiskeimaktiven Bakterien (NINA-Bakterien) oder von Antinukleationsagenzien empfohlen^{157,158,159}. Eine Wirkung konnte in der Praxis bisher jedoch nicht bestätigt werden – die Schwierigkeiten dürften dabei die Abwaschung der Substanzen, die Unterschiedlichkeit der Bakterienpopulationen, die Notwendigkeit der mehrfachen Anwendung (je nach Produkt), aber auch auftretende Phytotox-Reaktionen sein¹⁶⁰.

Die Verteilung und Anzahl der Bakterien auf Pflanzen ist klimabedingt, saisonabhängig sowie von der Pflanzenart und dem Pflanzenteil abhängig¹⁶¹. Dass in hohen Begrünungen (und generell auf Gräsern) mehr INA-Bakterien vorhanden sind als auf anderen Kulturen (z.B. Obstbäumen oder Reben), ist ein weiteres Argument für das Kurzhalten der Begrünungen¹⁶² (vgl. Kapitel 6.1.5).

7 FROSTSCHUTZTECHNIK IM APFELANBAU (JÜRGEN CHRISTANELL)

In den letzten Jahren häuften sich die Spätfrostereignisse. In Südtirol gab es seit 2012 in drei Jahren Schäden durch Spätfrost. Die größten Schäden waren in den Jahren 2016 und 2017 zu beklagen. In den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts hatten wir eine ähnliche Situation. In der Folge wurde in Südtirol überall dort, wo es möglich war, eine Frostschutzberegnung installiert. Damals versuchte man auch schon mit Heizöfen, Windmaschinen und fahrbaren Heizgeräten Frostschutz zu betreiben. Heute stehen in Südtirol 13.000 Hektar der Obstbaufläche unter Frostschutzberegnung. Mit 5.000 Hektar gibt es noch eine große Anzahl von Obstanlagen ohne Frostschutz. In diesen Anlagen steht meist zu wenig Wasser zur Verfügung, um mit herkömmlichen Beregnungsanlagen Frostschutz zu betreiben. Deshalb besteht auch ein großes Interesse an Beregnungsanlagen mit wassersparenden Regnern. Martin Thalheimer vom Versuchszentrum Laimburg hat dazu Versuche gemacht und ist zum Schluss gekommen, dass man mit wassersparenden Regnern vom Typ Netafim bis zu 30% Wasser sparen kann, mit Flipper-Regnern der Firma NaanDanJain sogar bis zu 70%. Die Flipper-Regner wurden im Herbst und Winter in einigen Anlagen getestet, um Erfahrungen zu sammeln. Eine offene Frage bei diesen Regnertypen ist die Einschalttemperatur, zudem muss sehr sauberes Wasser zur Verfügung stehen (120 Mesh Filtersysteme).

Im Vinschgau stehen mehrere stationäre Windflügel. Diese wurden über Jahre hinweg beobachtet, und in den vergangenen zwei Jahren wurden dazu Auswertungen gemacht. Der Wirkungsradius war in beiden Jahren gering, der Geräuschpegel der Windflügel hoch, und für Windfröste sind sie unbrauchbar. 2017 versuchte man vor allem im Vinschgau Anlagen mit Frostschutzkerzen und auch mit Stückholzbefuerung vor der Kälte zu schützen. Teilweise konnten mit diesen Methoden sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Im Vergleich zur Frostschutzberegnung schnitten die Kerzen schlechter ab, aber sie waren deutlich besser als die unbehandelte Kontrolle. Das Heizen ist aber sehr arbeitsaufwendig und teuer. Dort wo keine Frostberegnung möglich ist, könnte diese Methode jedoch eine Alternative darstellen.

Auch einige Frostguard und Frostbuster waren im vergangenen Jahr im Einsatz. Diese Geräte funktionieren vom Prinzip her wie die Kerzen und Öfen. Ziel ist es, die Temperatur in der Anlage zu erhöhen. Auch mit diesen Geräten waren die Erfahrungen ernüchternd, bei beiden Geräten konnte kaum eine Verbesserung zur Kontrolle festgestellt werden.

Die Frostschutzberegnung bleibt also die effektivste Maßnahme, um Spätfroste zu bekämpfen. Aber auch die herkömmliche Frostschutzberegnung ist noch verbesserungsfähig. Die Wasserverteilung kann mit der Verwendung von neueren Regnertypen verbessert werden, mit den wassersparenden Regnern des Typs „Flipper“ müssen aber in der Praxis noch Erfahrungen gesammelt werden. Eventuell könnten diese Regnertypen eine Alternative zu den heutigen Regnern darstellen, vor allem in Zonen wo wenig Wasser zur Verfügung steht. Windflügel haben in den letzten beiden Jahren eine unzureichende Wirkung gezeigt, insbesondere der Wirkungsradius war begrenzt. Die Frostkerzen haben im letzten Jahr recht gut funktioniert. Ihre Wirkung liegt hinter der einer Frostschutzberegnung, sie können aber eine Alternative dazu sein. Nachteil der Kerzen sind die Kosten, die Logistik beim Anzünden und die Lagerung. Pellets-Öfen müssen in der Praxis noch getestet werden, könnten aber eine Alternative zu den herkömmlichen Frostkerzen darstellen. Die Holzbefuerung ist sehr arbeitsintensiv und in der Frostnacht zudem eine logistische Herausforderung.

8 STEIRERTEICH 1.0: INSTRUMENT ZUR PLANUNG VON WASSERSPEICHERN FÜR DIE STEIRISCHE LANDWIRTSCHAFT (THOMAS GUGGENBERGER UND JOHANNES SCHOLZ)

Akute Frostereignisse im Frühjahr und ein latent zunehmender Wassermangel in der Sommerperiode belasten die steirische Landwirtschaft. Die langsame Erwärmung unserer Region führt in allen Lagen immer öfters zu einem sprunghaftem, vorverlegten Vegetationsbeginn mit einer höheren Schädigungsgefahr bei Spätfrösten. Diese Beobachtung bleibt im Grün- und Ackerland noch ohne große Schäden, führt aber im Obst- und Weinbau zum vollständigen Verlust der Ernte. Längere Trockenphasen im Früh- und Hochsommer betreffen alle Lagen und dämpfen dort die Ertragserwartung. Eine externe Wasserversorgung und ein betriebliches Wassermanagement, wie es etwa in Südtirol umgesetzt wird, gewinnen damit auch in Österreich an Bedeutung. Prioritäre Umsetzungsgebiete sind die im Lee der Alpen liegenden Täler in Süd- und Ostösterreich sowie die an den pannonischen Klimaraum angrenzenden Gebiete in der Steiermark, im Burgenland und in Niederösterreich.

Ungeachtet der noch nicht bestimmten Entwicklung in der Zukunft, kann allen Herausforderungen bis zu einem gewissen Grad durch technische Maßnahmen begegnet werden. Die Schäden bei Spätfrösten können durch Frostschutzberegnung gedämpft und die Sommertrockenheit im Erwerbsobstbau durch Tropfbewässerung entschärft werden. Beide Maßnahmen können die notwendige Wassermenge aus lokal zu errichtenden Wasserspeichern entnehmen. Eine großflächige Beregnung der Ackerbaugebiete mit Beregnungsmaschinen oder eine flächige Beregnung von Grünlandgebieten ist damit nicht zu bewerkstelligen.

Der Plan, eine höhere Anzahl kleiner, lokaler Wasserspeicher (Teiche oder Zisternen) zu errichten, verfolgt das Konzept einer multiplen Ressourcennutzung unter Berücksichtigung der bestehenden Gesetzeslage. Die geplanten Wasserspeicher befüllen ihre Kapazitäten prioritär durch das Sammeln von Niederschlägen aus Oberflächenwassersystemen und durch die Zuleitung aus bestehenden Versorgungsnetzen oder zulässigen Bereichen von Fließgewässern. Die Nutzung von Oberflächenwasser führt zu einer Werterhaltung üblicherweise abfließender Starkniederschläge, die Entnahmen geringer Mengen an Frisch- oder Fließwasser über einen großen Sammelzeitraum reduziert die Eingriffe in bestehende Ökosystem.

Die Rechtslage sieht vor, dass jede Umsetzung im Wasserbereich durch die zuständige Behörde zu begleiten ist. Das Wasserrecht ist eine Kompetenz der Länder und wird von den Bezirksverwaltungsbehörden umgesetzt. Bäuerliche Betriebe oder Interessengemeinschaften treten im Verwaltungsweg mit unterschiedlichen Kompetenzen dieser Behörden in Kontakt und benötigen dafür sowohl einen Handlungsleitfaden als auch geeignete Planungswerkzeuge zur Auskunftserteilung über die geplanten Projekte. Eine geordnet, transparente Projektvorbereitung führt zu einem klaren, flüssigen Verwaltungslauf im Interesse aller Beteiligten.

Ziel des hier vorgestellten Projektes ist die Entwicklung einer einfachen Web-Gis-Anwendung die von den beteiligten Parteien (Behörde, Beratung, Landwirte) gemeinsam in einem gesicherten Bereich betrieben wird und die folgende Features aufweist:

- Auf dem Hintergrund eines hochauflösenden Luftbildes (Bing-Maps) werden alle für das Thema relevanten und verfügbaren Datenbestände dargestellt. Diese Darstellung zeigt das Geländemodell, die fein aufgelöste Struktur der Fließgewässer und alle Schutzgebietsstrukturen. Diese Daten sind für alle Benutzer sichtbar.
- Individuelle Antragsteller können über ihre landwirtschaftliche Betriebsnummer die Schlagnutzungsstrukturen ihrer/ihrer Mehrfachantrages in die Anwendung laden. Auf der Basis dieser Schlagnutzungen erstellt ein einfaches Berechnungsmodell die Wassernachfrage unterschiedlicher Maßnahmen.
- Die individuellen Antragssteller digitalisieren den potenziellen Standort des geplanten Teiches und erweitern diesen durch lineare Objekte für die Befüllung. Versorgungspfade zur öffentlichen Wasserversorgung oder zu bestehenden Oberflächenwasserkanälen sind im Vorfeld bilateral mit den jeweiligen Anbietern/Gemeinden zu besprechen bzw. zu verhandeln. Eigene Sammelsysteme können ebenfalls dargestellt werden. Für Zuleitungen aus dem Gewässernetz und Brunnen wird ein eigener behördlicher Teil entwickelt der alle notwendigen Informationen seitens der Behörde aufnehmen wird. Der gesamte Teil zur Abschätzung des möglichen Angebotes bietet verschiedenen Dokumentationsmöglichkeiten.
- Aus der Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage kann in der Beratung ein Umsetzungsprozess angetrieben und eine technische Planung beauftragt werden.
- All Einzelprojekte werden in der Anwendung sichtbar. Das eigene Projekt wird dabei im Detail, und benachbarte Projekte nur als umgebendes Vieleck dargestellt. Die Kenntnis benachbarter Projekte ist im Gesamtkontext von hoher Bedeutung.

Das Projekt wird in Kooperation mit den Fachabteilungen des Landes Steiermark, der Steirischen Kammer für Land- und Forstwirtschaft, der Technischen Universität Graz und der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in einem Zeitraum von einem Jahr umgesetzt.

9 LITERATUR

1. Michael Karlinger, „Auswertung Frostumfrage Obstbau“, 22. August 2017.
2. Karlinger.
3. Karlinger.
4. M Schneider, „Klimatisch ausgerichteter Anbau und Beeinflussung der Frostgefährdung“, in Frostschutz im Pflanzenbau, Bd. 2 (München: BLV Verlagsgesellschaft, 1965), 3–65.
5. Reinhold Lazar, Gerhard Karl Lieb, und Othmar Nestroy, „Die natürlichen Grundlagen für den Weinbau in der Steiermark“, in Weinkultur (Kulturreferat der Steirischen Landesregierung, Graz, 1990), 45–66.
6. Reinhold Lazar, Gerhard Karl Lieb, und Othmar Nestroy.
7. Otmar Harlfinger, Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. Klimatographie Teil 2 (Innsbruck: Universitätsverlag Wagner, 2002).
8. Leonhard Steinbauer, „Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätfrostschäden“, Haidegger Perspektiven, Nr. 2/2017 (2017).
9. „RIS - Steiermärkisches Landesweinbaugesetz 2004 - Landesrecht konsolidiert Steiermark, Fassung vom 28.12.2017“, [zugriffen](http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000885) 28. Dezember 2017, <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000885>.
10. Leonhard Steinbauer, „Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätfrostschäden“.
11. Jetse D. Kalma u. a., The Bioclimatology of Frost: Its Occurrence, Impact and Protection, 2. Aufl. (Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: Springer, 1992).
12. Richard L. Snyder und J. Paulo De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“, 2005, <http://www.fao.org/docrep/008/y7223e/y7223e0c.htm#bm12.15>.
13. Leonhard Steinbauer und Thomas Rühmer, „Die Lehren aus den Frostjahren 2016 und 2017: rasch und strukturiert han-deln!“, Haidegger Perspektiven, Nr. 4/2017 (2017).
14. Leonhard Steinbauer und Thomas Rühmer.
15. Markus Keller, „Frostschutz bei Reben: Ein Fall der inneren und äußeren Sicherheit“ (Schlumberger Lectures, BOKU Tulln, 31. März 2017).
16. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
17. Josef van Eimern und Hans Häckel, Wetter- und Klimakunde.
18. Arlie A. Powell und David G. Himelrick, „ACES Publications : Principles of Freeze Protection for Fruit Crops : ANR-1057-A“, Alabama Cooperative Extension System, März 2000, <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-1057-A/index2.tmpl>.
19. Martin Thalheimer, „Abwehr von Spätfrösten im Apfelanbau-Möglichkeiten und Perspektiven“, Laimburg Journal, Nr. 1 (2004): 41–46.
20. Josef van Eimern und Hans Häckel, Wetter- und Klimakunde.
21. Josef van Eimern und Hans Häckel, Wetter- und Klimakunde, 4. (Stuttgart: Eugen Ulmer, 1984).
22. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“, 21. November 2012, https://hagel.at/site/files/Frostabwehr_im_Weinbau.pdf.
23. Josef van Eimern und Hans Häckel, Wetter- und Klimakunde.
24. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
25. Horst Marschner, Mineral Nutrition of Higher Plants, 2. Auflage (London: Academic Press, 1993).
26. Gerhard Friedrich, Dietrich Neumann, und Michael Vogl, Physiologie der Obstgehölze, 2. Auflage (Springer, Berlin, Heidelberg, 1986).
27. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“, Mitteil-ungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes e.V., Nr. 4/2012 (2012): 136–43.
28. Josef van Eimern und Hans Häckel, Wetter- und Klimakunde.
29. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.
30. Powell und Himelrick, „ACES Publications“, März 2000.

31. R Leyden und P.W. Rohrbaugh, „Protection of citrus trees from freeze damage.“, Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Nr. 83 (1963): 344–51.
32. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
33. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
34. Josef van Eimern und Hans Häckel, Wetter- und Klimakunde.
35. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
36. D.D. Fritton und J.D. Martsolf, „Solar energy, soil management and frost protection“, HortScience, Nr. 16 (1981): 295–96.
37. Lothar Wurm u. a., Erfolgreicher Obstbau (Österreichischer Agrarverlag, 2010).
38. Leonhard Steinbauer, „Spätfrost: Präventions- und Bekämpfungsmöglichkeiten“ (Steinobstseminar 2018, Silberberg, Leibnitz, 8. Februar 2018).
39. Robert Schumacher, Die Fruchtbarkeit der Obstgehölze, 3. Auflage (Eugen Ulmer, 1989).
40. Friedrich, Neumann, und Vogl, Physiologie der Obstgehölze.
41. Steinbauer, „Spätfrost: Präventions- und Bekämpfungsmöglichkeiten“.
42. Leonhard Steinbauer, Jänner 2018.
43. Edgar Müller, Gerd Schulze, und Oswald Walg, Weinbau Taschenbuch, 11. (Fachverlag Fraund, 2000).
44. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.
45. Astrid Forneck, „Möglichkeiten der Austriebsverzögerung“, Der Winzer, Nr. 3/2017 (2017).
46. Sabrina Dreisiebner-Lanz, „Rebholz – von erfroren über zu hoher Markanteil bis ideal“, Dezember 2017.
47. Edgar Müller, Gerd Schulze, und Oswald Walg, Weinbau Taschenbuch.
48. Astrid Forneck, „Austriebsverzögerung bei der Rebe: physiologische Hintergründe, Möglichkeiten, Grenzen“ (Schlumberger Lectures, BOKU Tulln, 31. März 2017).
49. Markus Müller und Peter Schwappach, „Damit sich die Reben nix abfrieren“, Rebe & Wein, Nr. 4/2014 (2014), https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/spaetfrostbekaempfung_r_w_2014.pdf.
50. Edgar Müller, Gerd Schulze, und Oswald Walg, Weinbau Taschenbuch.
51. Astrid Forneck, „Austriebsverzögerung bei der Rebe: physiologische Hintergründe, Möglichkeiten, Grenzen“.
52. Edward A. Weber, Florent P. Trouillas, und W. Douglas Gubler, „Double Pruning of Grapevines: A Cultural Practice to Reduce Infections by Eutypa Lata“, American Journal of Enology and Viticulture 58, Nr. 1 (1. März 2007): 61–66.
53. Edgar Müller, Gerd Schulze, und Oswald Walg, Weinbau Taschenbuch.
54. Erhard Kühner, „Auswirkungen von Spätfrost und Schadensminimierung“, Der Winzer, Nr. 03/17 (2017): 22–23.
55. Kühner.
56. Edgar Müller, Gerd Schulze, und Oswald Walg, Weinbau Taschenbuch.
57. Arnold Schwab und Roger Nüßlein, „Minimalschnitterziehung. Ergebnisse aus Franken“, Rebe & Wein 1/2005, Nr. 1 (o. J.).
58. Edgar Müller, Gerd Schulze, und Oswald Walg, Weinbau Taschenbuch.
59. Arno Becker, „Minimalschnitt: keine Schlamperei“, Der Deutsche Weinbau, Nr. 22 (27. Oktober 2006): 14–17.
60. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
61. Kalma u. a., The Bioclimatology of Frost: Its Occurrence, Impact and Protection.
62. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.
63. Kalma u. a., The Bioclimatology of Frost: Its Occurrence, Impact and Protection.
64. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.

65. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
66. „Principles of Frost Protection“, zugegriffen 29. Dezember 2017, <http://biomet.ucdavis.edu/frostprotection/Principles%20of%20Frost%20Protection/FP005.html>.
67. Jürgen Christanell, „Frostberechnung in der Praxis“ (Gleisdorf, 22. November 2012).
68. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
69. Jürgen Christanell, „Frostberechnung in der Praxis“.
70. Markus Müller, „Prävention Spätfrostschäden. Erkenntnisse und Empfehlungen aus Franken“, Der Winzer, Nr. 3/2017 (2017).
71. Dirk Köpcke, „Ansprüche an die Wasserqualität bei der Frostschutzberechnung und Bewässerung von Obstkulturen“, Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes e.V., Nr. 11/2012 (2012): 382–86.
72. Steinbauer, „Spätfrost: Präventions- und Bekämpfungsmöglichkeiten“.
73. Eugen Tumler, „Frostberechnung bei Steinobst“ (Steinobstseminar 2018, Silberberg, Leibnitz, 8. Februar 2018).
74. Dirk Köpcke, „Frostschutz bei Erdbeeren“, Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes e.V., Nr. 2/2013 (2013): 44–47.
75. Elke Immik, „Erschließung von Obstbauflächen zur Frostschutzberechnung“ (Oppenheim, 8. November 2017), [https://obstweintechnik.eu/App_Upload/User/Fachbeitr%C3%A4ge/Frostschutzberechnung%202017_Immik-1\(1\).pdf](https://obstweintechnik.eu/App_Upload/User/Fachbeitr%C3%A4ge/Frostschutzberechnung%202017_Immik-1(1).pdf).
76. Markus Müller, „Prävention Spätfrostschäden. Erkenntnisse und Empfehlungen aus Franken“.
77. Leonhard Steinbauer, „Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätfrostschäden“.
78. Tumler, „Frostberechnung bei Steinobst“.
79. Elke Immik, „Erschließung von Obstbauflächen zur Frostschutzberechnung“.
80. Leonhard Steinbauer, „Windmaschine mit Zusatzheizung“, o. J.
81. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
82. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“, zugegriffen 7. Juni 2017, <https://www.lwg.bayern.de/weinbau/087592/index.php>.
83. Powell und Himelrick, „ACES Publications“, März 2000.
84. Powell und Himelrick.
85. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.
86. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
87. Markus Müller, „Prävention Spätfrostschäden. Erkenntnisse und Empfehlungen aus Franken“.
88. Sabrina Dreisiebner-Lanz, „Fotos Frostbekämpfung“, 21. April 2017.
89. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
90. Elisabeth Haas (Rechtsabteilung Landwirtschaftskammer Steiermark, April 2017).
91. Sabrina Dreisiebner-Lanz, „Fotos Frostbekämpfung“.
92. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.
93. Erhard Kühner, „Auswirkungen von Spätfrost und Schadensminimierung“, Der Winzer, Nr. 3/2017 (2017): 22–23.
94. Erhard Kühner.
95. Sabrina Dreisiebner-Lanz, „Aktuelle Hinweise zur Frostabwehr“, Warndienst Weinbauabteilung LK Steiermark, 19. April 2017.
96. Erhard Kühner, „Auswirkungen von Spätfrost und Schadensminimierung“.
97. Leonhard Steinbauer, „Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätfrostschäden“.
98. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
99. Franz Lehner, „Frostschutz-Alternativen zur Frostberechnung“ (Steinobstseminar 2108, Silberberg, Leibnitz, 8. Februar 2018).

100. Leonhard Steinbauer, „Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätfrostschäden“.
101. Lehner, „Frostschutz-Alternativen zur Frostberegnung“.
102. „Antifrost-Kerze | Lagerhausgenossenschaft Landring Weiz“, zugegriffen 31. Jänner 2018, <https://www.landring.at/antifrost-kerze+2500+3247452>.
103. Lehner, „Frostschutz-Alternativen zur Frostberegnung“.
104. Lehner.
105. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
106. Erhard Kühner, „Auswirkungen von Spätfrost und Schadensminimierung“.
107. Leonhard Steinbauer, „Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätfrostschäden“.
108. Lehner, „Frostschutz-Alternativen zur Frostberegnung“.
109. Arlie A. Powell und David G. Himelrick, „ACES Publications : Methods of Freeze Protection for Fruit Crops : ANR-1057-B“, Oktober 2000, <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-1057-B/index2.tmpl>.
110. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
111. Snyder und De Melo-Abreu.
112. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
113. Dirk Köpcke, „Frostschutz bei Erdbeeren“, Mitteilung (Jork: Obstbauversuchsanstalt, Februar 2013).
114. Dirk Köpcke, „Frostschutz bei Erdbeeren“.
115. Steinbauer, „Spätfrost: Präventions- und Bekämpfungsmöglichkeiten“.
116. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
117. Dirk Köpcke, „Frostschutz bei Erdbeeren“.
118. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
119. Astrid Forneck, „Möglichkeiten der Austriebsverzögerung“.
120. Astrid Forneck u. a., „Austriebsverzögerung als Spätfrost-Prävention“, Der Winzer, Nr. 1/2018 (o. J.): 7–11.
121. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
122. Astrid Forneck u. a., „Austriebsverzögerung als Spätfrost-Prävention“.
123. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
124. Astrid Forneck u. a., „Austriebsverzögerung als Spätfrost-Prävention“.
125. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
126. Astrid Forneck u. a., „Austriebsverzögerung als Spätfrost-Prävention“.
127. Thalheimer, „Abwehr von Spätfrost im Apfelanbau-Möglichkeiten und Perspektiven“.
128. Powell und Himelrick, „ACES Publications“, Oktober 2000.
129. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
130. Powell und Himelrick, „ACES Publications“, Oktober 2000.
131. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
132. Snyder und De Melo-Abreu.
133. Steinbauer, „Spätfrost: Präventions- und Bekämpfungsmöglichkeiten“.
134. Thalheimer, „Abwehr von Spätfrost im Apfelanbau-Möglichkeiten und Perspektiven“.
135. Lothar Wurm u. a., Erfolgreicher Obstbau.
136. Steinbauer, Interview.
137. Steinbauer.
138. Lothar Wurm u. a., Erfolgreicher Obstbau.
139. Steinbauer, Interview.
140. Oliver Kurz, „Dem Frost die kalte Schulter zeigen - Innovative Bekämpfungsstrategien“ (10. Lëtzeburger Wäibaudag, Wormeldingen, 7. Februar 2018).
141. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
142. Markus Müller.
143. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.

144. „Willkommen bei Agrofrost.“, zugegriffen 1. Februar 2018, <http://agrofrost.eu/>.
145. Lothar Wurm, „Ermittlung der Effektivität des ‚Frostbusters‘ als Frostschutz für Marillen“, Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Früchteverwertung 60, Nr. 1 (2010): 106–7.
146. Tumler, „Frostberechnung bei Steinobst“.
147. Dirk Köpcke, „Erfolgreicher Frostschutz unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse in Obstanlagen“.
148. Lehner, „Frostschutz-Alternativen zur Frostberechnung“.
149. „Willkommen bei Agrofrost.“
150. Peter Schwappach, „Frostabwehr im Weinbau“.
151. „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“, zugegriffen 7. Juni 2017, <https://www.lwg.bayern.de/weinbau/087592/index.php>.
152. Markus Müller, „Untersuchungen zur Prävention von Spätfrostschäden“.
153. Markus Müller.
154. Markus Müller.
155. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
156. Christopher Y. Choi, Werner Zimmt, und Gene Giacomelli, „Freeze and Frost Protection with Aqueous Foam— Foam Development“, HortTechnology 9, Nr. 4 (10. Jänner 1999): 661–69.
157. Steven E. Lindow, „Methods of Preventing Frost Injury Caused by Epiphytic Ice-Nucleation-Active Bacteria“, Plant Disease 67, Nr. 3 (1983): 327, <https://doi.org/10.1094/PD-67-327>.
158. Kalma u. a., The Bioclimatology of Frost: Its Occurrence, Impact and Protection.
159. Thalheimer, „Abwehr von Spätfrösten im Apfelanbau-Möglichkeiten und Perspektiven“.
160. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.
161. Dennis C. Gross u. a., „Distribution, Population Dynamics, and Characteristics of Ice Nucleation-Active Bacteria in Deciduous Fruit Tree Orchards“, Applied and Environmental Microbiology 46, Nr. 6 (12. Jänner 1983): 1370–79.
162. Snyder und De Melo-Abreu, „Frost protection: fundamentals, practice, and economics - Volume 1“.